

SANTÉ
ENVIRONNEMENT

JANVIER 2025

ÉTUDES ET ENQUÊTES

ESTIMATION DE LA MORBIDITÉ
ATTRIBUABLE À L'EXPOSITION À LONG
TERME À LA POLLUTION DE L'AIR
AMBIANT ET DE SES IMPACTS
ÉCONOMIQUES EN FRANCE
HEXAGONALE, 2016-2019

Volume 1 : Évaluation quantitative d'impact sur la santé
(EQIS-PA)

Résumé

Estimation de la morbidité attribuable à l'exposition à long terme à la pollution de l'air ambiant et de ses impacts économiques en France hexagonale, 2016-2019

Volume 1 : Évaluation quantitative d'impact sur la santé (EQIS-PA)

Pour la première fois, Santé publique France a mené une évaluation quantitative d'impact sur la santé de l'exposition au long cours à la pollution de l'air ambiant en France hexagonale en s'intéressant à la survenue de maladies respiratoires, cardiovasculaires et métaboliques. En partenariat avec l'Aix-Marseille Université - CNRS - AMSE, l'étude fournit également une évaluation économique de ces impacts.

L'étude complète les résultats sur la mortalité publiés en 2021. L'impact sur le développement de huit des dix pathologies proposées par le projet EMAPEC de l'OMS ont été étudiées ici, compte tenu des données disponibles, selon différents scénarios de baisse de la pollution de l'air ambiant pour la France hexagonale :

- au niveau respiratoire : cancer du poumon, bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO), asthme de l'enfant et de l'adulte, pneumopathies et infections aiguës des voies respiratoires inférieures (grippe exclue) (ALRI) ;
- au niveau cardiovasculaire : accident vasculaire cérébral (AVC), infarctus aigu du myocarde (IAM), hypertension artérielle (HTA) ;
- au niveau métabolique : diabète de type 2.

Il convient de souligner que seuls les **effets à long terme** de l'exposition à la pollution de l'air ambiant (PA) sur les indicateurs de morbidité ont été estimés dans notre étude qui montre que l'exposition au long cours aux PM_{2,5} et au NO₂ a un impact conséquent sur l'apparition de nouveaux cas des maladies considérées au sein des populations étudiées.

Les résultats montrent que la PA constitue un fardeau considérable pour la santé en France hexagonale. **L'exposition aux PM_{2,5}** reste l'exposition pour laquelle les preuves scientifiques sont les plus solides, et pour laquelle l'impact sur la morbidité est le plus élevé. Ainsi, dans le scénario sans pollution anthropique (3 µg/m³), en France hexagonale l'impact des PM_{2,5} sur la **survenue de l'asthme chez l'enfant** de 0 à 17 ans représente près de 40 000 nouveaux cas, une année donnée (soit presque 20% de l'ensemble des nouveaux cas d'asthme chez l'enfant). **Chez l'adulte, au niveau respiratoire**, le poids total de ces particules représente plus de 22 000 nouveaux cas de **BPCO** (soit 11% des cas) chez les 40 ans et plus. Pour le **cancer du poumon** chez les 35 ans et plus, ce poids représente plus de 4 100 nouveaux cas (soit 10%). **Au niveau cardiovasculaire**, l'impact des PM_{2,5} sur l'**HTA** chez les 18 ans et plus, représente 78 000 nouveaux cas, une année donnée (soit 11% de l'ensemble des nouveaux cas d'HTA). Pour l'**AVC** chez les 35 ans et plus, le poids total des PM_{2,5} représente plus de 10 000 nouveaux cas (soit 10%), et pour l'**IAM** chez les 30 ans et plus, ce poids représente plus de 8 100 nouveaux cas (soit 8,5%). Enfin, le poids total des PM_{2,5} représente presque 7% de tous les nouveaux cas de **diabète de type 2** chez les 45 ans et plus, une année donnée, ce qui correspond à plus de 14 400 cas.

Si l'on s'intéresse au **dioxyde d'azote (NO₂)**, les bénéfices pour la santé sont plus faibles que pour les PM_{2,5} sur l'ensemble du territoire, et son impact est surtout observé dans les grandes zones urbaines. Ainsi, dans le scénario sans pollution anthropique (1 µg/m³), le poids du NO₂ **en zones urbaines** représente en moyenne presque 16% des nouveaux cas **d'asthme de l'adulte** de 18 ans à 39 ans, une année donnée, ce qui correspond à plus de 10 000 nouveaux cas. De plus, l'impact du NO₂ en zones urbaines représente en moyenne plus de 15% des nouveaux cas **d'asthme chez l'enfant** de 0-17 ans, ce qui correspond à plus de 21 000 cas, et plus de 14% des nouveaux cas **d'ALRI chez l'enfant** de 0-12 ans, ce qui correspond à plus de 6 000 cas. Ces différences peuvent s'expliquer par le fait que le NO₂ est un traceur du trafic routier.

L'étude souligne que la réduction des concentrations en PM_{2,5} et NO₂ à des niveaux équivalents aux **valeurs guides de l'OMS** permettrait d'éviter la majeure partie de la morbidité attribuable à la PA d'origine anthropique, à hauteur de 75% pour les PM_{2,5} et à près de 50% pour le NO₂.

Enfin, si l'on détaille le calcul de l'impact sur le territoire d'étude en fonction du niveau de densité de la population, l'analyse montre un **clair gradient rural-urbain** pour les PM_{2,5} comme pour le NO₂.

Des analyses exploratoires en fonction du **niveau de défavorisation sociale** des communes, ont été conduites pour l'incidence du cancer du poumon et de l'AVC chez l'adulte, et pour l'incidence de l'asthme

chez l'enfant. Elles soulignent que les bénéfices attendus pour la santé seraient globalement plus importants dans les territoires plus défavorisés et plus urbanisés. Cependant, ces résultats sont à interpréter avec prudence et des travaux sont à poursuivre pour deux raisons. D'une part, du fait d'une forte variabilité au sein des territoires eux-mêmes et entre les territoires, selon les classes de défavorisation ; et d'autre part, du fait d'un manque de connaissances à ce jour sur l'existence d'un différentiel de vulnérabilité des populations (à savoir, si certains groupes de population sont plus sensibles que d'autres à un même niveau d'exposition).

L'analyse économique (cf. rapport volume 2) montre que si les niveaux moyens de **PM_{2,5}** étaient réduits jusqu'au seuil anthropique de 3 µg/m³ en France hexagonale, les bénéfices annuels en termes de santé et de bien-être pour les maladies étudiées s'élèveraient à 12,88 milliards €₂₀₁₈, dont 4,43 milliards €₂₀₁₈ pour la BPCO (34,4%), 4,27 milliards €₂₀₁₈ pour l'asthme chez l'enfant (33,2%), 430 millions €₂₀₁₈ pour le cancer du poumon (3,3%), 1,25 milliard €₂₀₁₈ pour l'AVC (9,7%), 679 millions €₂₀₁₈ pour l'HTA (5,3%), 448 millions €₂₀₁₈ pour l'IAM (3,5%) et 1,38 milliard €₂₀₁₈ pour le diabète de type 2 (10,7%). Le système de santé supporterait les coûts sanitaires directs (CS) (5,27 milliards €₂₀₁₈, soit 40,9%), les autres payeurs les pertes de production (PP) (1,93 milliard €₂₀₁₈, soit 15%), et la composante intangible (CI) représenterait le solde de 5,68 milliards €₂₀₁₈ (soit 44,1%), supportée par les patients et leurs familles. Pour le **NO₂**, si les niveaux moyens étaient réduits jusqu'au seuil anthropique de 1 µg/m³, les bénéfices annuels en termes de santé et de bien-être pour les maladies étudiées s'élèveraient à 3,79 milliards €₂₀₁₈, dont 2,82 milliards €₂₀₁₈ pour l'asthme chez l'enfant (74,4%), 965 millions €₂₀₁₈ pour l'asthme chez l'adulte (25,5%) et 3,12 millions €₂₀₁₈ pour l'ALRI chez l'enfant (0,1%). Le système de santé supporterait les CS (1,18 milliard €₂₀₁₈, soit 31%), les autres payeurs les PP (1,21 milliard €₂₀₁₈, soit 32%), et la CI représenterait le solde de 1,40 milliard €₂₀₁₈ (soit 37,1%).

Par ailleurs, **la construction des indicateurs d'incidence** (les indicateurs qui mesurent l'apparition de nouveaux cas) des maladies étudiées a constitué un enjeu majeur de cette étude. La consultation des experts nationaux a permis, au vu des données disponibles en France, de disposer de la meilleure estimation possible des incidences de cas des maladies analysées malgré des incertitudes qui persistent.

Nos résultats, qui ne couvrent pas tous les impacts sur la santé de la PA, montrent que la poursuite des politiques d'amélioration de la qualité de l'air reste un véritable **enjeu de santé publique** en France, même si la qualité de l'air s'améliore pour certains indicateurs chaque année. De plus, l'exposition quotidienne sur le long cours à la PA a des impacts sur la santé de l'ensemble de la population quel que soit le niveau de pollution et toute diminution de l'exposition à cette pollution sera bénéfique. La PA étant un mélange complexe de polluants dans l'air, il est nécessaire d'agir depuis différentes perspectives sur ce mélange, et les améliorations doivent porter sur toutes les sources de pollution et concerner l'ensemble du territoire, qu'il soit **urbain ou rural**.

En conclusion, dans le contexte de l'adoption de nouvelles directives européennes sur la qualité de l'air ambiant, qui alignent davantage les directives de qualité de l'air sur les recommandations de l'OMS sans toutefois les atteindre, ces résultats apportent des éléments d'information visant à orienter les efforts de prévention pour réduire l'exposition à la pollution de l'air, et mieux protéger la santé de la population française. Si nous sommes conscients que les valeurs guides de l'OMS sont ambitieuses, disposer de telles valeurs à atteindre encourage à engager des actions de réduction des émissions de pollution dans l'atmosphère toujours plus intenses et innovantes. Considérant ces éléments, Santé publique France soutient que le respect des valeurs guides de l'OMS permettrait de réduire la mortalité et la morbidité attribuables à la pollution de l'air en France, contribuant à atteindre l'objectif du Plan d'action mondial pour la lutte contre les maladies non transmissibles de l'OMS, à savoir une réduction d'un tiers du risque de décéder d'une maladie chronique à l'horizon 2030.

MOTS-CLÉS : POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE, ÉVALUATION QUANTITATIVE D'IMPACT SUR LA SANTÉ (EQIS), MORBIDITÉ, ÉVALUATION MONÉTAIRE

Citation suggérée : Sylvia Medina, Magali Corso, Olivier Chanel, Véréne Wagner, Perrine de Crouy-Chanel, Sabine Host *et al.* Estimation de la morbidité attribuable à l'exposition à long terme à la pollution de l'air ambiant et de ses impacts économiques en France hexagonale, 2016-2019. Volume 1 : Évaluation quantitative d'impact sur la santé (EQIS-PA). Santé publique France, 2025. 158 p. <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air>.

ISSN : 2609-2174 / ISBN-NET 979-10-289-0959-8 / RÉALISÉ PAR LA DIRECTION DE LA COMMUNICATION, SANTÉ PUBLIQUE FRANCE / DÉPÔT LÉGAL : JANVIER 2025

Abstract

Morbidity attributable to long-term exposure to ambient air pollution and its economic impacts in France, 2016-2019

Volume 1: Quantitative Health Impact Assessment

For the first time, Santé publique France has conducted a quantitative health risk assessment of exposure to ambient air pollution in France¹, focusing on the occurrence of respiratory, cardiovascular and metabolic diseases. In partnership with Aix-Marseille University - CNRS - AMSE, the study also provides an economic evaluation of these impacts.

The study complements the results on mortality published in 2021. The impact on the development of eight of the ten diseases proposed by the WHO's EMAPEC project² have been analyzed here, in the light of available data, according to different reduction scenarios for ambient air pollution in France :

- respiratory diseases: lung cancer, chronic obstructive pulmonary disease (COPD), asthma in children and adults, acute lower respiratory infections (excluding influenza) (ALRI) ;
- cardiovascular diseases: stroke, acute myocardial infarction (AMI), hypertension ;
- metabolic diseases: type 2 diabetes.

It should be stressed that only the **long-term** impacts of exposure to AP on morbidity indicators were estimated here, which shows that long-term exposure to PM_{2.5} and NO₂ has a significant impact on the appearance of new cases of the diseases considered in the study population.

The results show that AP represents a considerable health burden in mainland France. **Exposure to PM_{2.5}** remains the exposure for which the scientific evidence is the strongest, and for which the impact on morbidity is the highest. Thus, in a scenario with no anthropogenic pollution (3 µg/m³), in mainland France, the impact of PM_{2.5} in a given year on the **onset of asthma in children** aged 0 to 17 represents almost 40,000 new cases (i.e. almost 20% of all new cases of asthma in children). In adults, the total burden of these particles represents more than 22,000 new cases of **COPD** (or 11% of all cases) in those aged 40 and over. For **lung cancer** in people aged 35 and over, this burden represents more than 4,100 new cases (or 10%). In terms of cardiovascular disease, the impact of PM_{2.5} on **hypertension** in people aged 18 and over represents 78,000 new cases in a given year (or 11% of all new cases of hypertension). For **stroke** in people aged 35 and over, the total burden of PM_{2.5} represents more than 10,000 new cases (or 10%), and for **AMI** in people aged 30 and over, this burden represents more than 8,100 new cases (or 8.5%). Finally, the total burden of PM_{2.5} in a given year accounts for almost 7% of all new cases of **type 2 diabetes** in people aged 45 and over, corresponding to over 14,400 cases.

For nitrogen dioxide (NO₂), the health benefits are lower than for PM_{2.5} over the whole study area, and its impact is mainly observed in large urban areas. Thus, in the scenario with no anthropogenic pollution (1 µg/m³), in a given year, the burden of NO₂ **in urban areas** represents on average almost 16% of new cases of **asthma in adults** aged 18 to 39, corresponding to over 10,000 new cases. Furthermore, the impact of NO₂ in urban areas represents on average more than 15% of new **asthma cases in children** aged 0-17, corresponding to more than 21,000 cases, and more than 14% of new **ALRI cases in children** aged 0-12, corresponding to more than 6,000 cases. These differences can be explained by the fact that NO₂ is an indicator of road traffic.

The study points out that reducing PM_{2.5} and NO₂ concentrations to levels equivalent to the **WHO guidelines** would prevent most of the morbidity attributable to anthropogenic AP, up to 75% for PM_{2.5} and almost 50% for NO₂.

Finally, if we calculate the impact on the study area according to population density, the analysis shows a clear **rural-urban gradient** for both PM_{2.5} and NO₂.

Exploratory analyses, based on the **level of social deprivation**, were conducted for the incidence of lung cancer and stroke in adults, and for the incidence of asthma in children. They show that, overall, the expected health benefits are greater in more deprived and urbanized areas. However, these results need to be interpreted with caution, and further work is required, firstly because of the high variability within and between

¹ including mainland France and Corsica

² EMAPEC project – Estimation of Morbidity from Air Pollution and its Economic Costs

regions, according to deprivation categories ; and secondly, because of the lack of knowledge to date on the existence of a differential in population vulnerability (i.e., whether certain population groups are more sensitive than others to the same level of exposure).

Economic analysis (cf. report volume 2) shows that if average PM_{2.5} levels were reduced to the anthropogenic threshold of 3 µg/m³ in mainland France, the annual benefits in terms of health and well-being for the diseases studied would amount to €₂₀₁₈ 12.88 billion, of which €₂₀₁₈ 4.43 billion for COPD (34.4%), €₂₀₁₈ 4.27 billion for childhood asthma (33.2%), €₂₀₁₈ 430 million for lung cancer (3.3%), €₂₀₁₈ 1.25 billion for stroke (9.7%), €₂₀₁₈ 679 million for hypertension (5.3%), €₂₀₁₈ 448 million for AMI (3.5%) and €₂₀₁₈ 1.38 billion for type 2 diabetes (10.7%). The healthcare system would bear the direct health costs (HC) (€₂₀₁₈ 5.27 billion, or 40.9%), other payers the production losses (PL) (€₂₀₁₈ 1.93 billion, or 15%), and the intangible component (IC) would account for the balance of €₂₀₁₈ 5.68 billion (or 44.1%), borne by patients and their families.

For NO₂, if average levels were reduced to the anthropogenic threshold of 1 µg/m³, the annual benefits in terms of health and well-being for the diseases studied would amount to €₂₀₁₈ 3.79 billion, of which €₂₀₁₈ 2.82 billion for childhood asthma (74.4%), €₂₀₁₈ 965 million for adult asthma (25.5%) and €₂₀₁₈ 3.12 million for childhood ALRI (0.1%).

The healthcare system would bear the HC (€₂₀₁₈ 1.18 billion, or 31%), other payers the PL (€₂₀₁₈ 1.21 billion, or 32%), and the IC would account for the balance of €₂₀₁₈ 1.40 billion (or 37.1%).

The **construction of incidence indicators** (indicators that measure the appearance of new cases) for the diseases studied was a major challenge for this study. Based on the data available in France, consultation with national experts enabled us to obtain the best possible estimate of the incident cases of the diseases analyzed, despite remaining uncertainties.

Our results, which do not cover all the health impacts of AP, show that policies for improving air quality remain a real **public health challenge in France**, even if for certain indicators, air quality is improving every year. Moreover, long-term exposure to AP has an impact on the health of the whole population, whatever the level of pollution, and any reduction in exposure will be beneficial. And since AP is a complex mixture of air pollutants, it is essential to act on this mixture from different perspectives, and improvements must address all sources of AP, and concern the whole area, whether **urban or rural**.

In conclusion, in the context of the adoption of new European Ambient Air Quality Directives, which aligns air quality standards more closely with WHO guidelines without, however, reaching them, our results provide information to guide prevention efforts to reduce exposure to AP, and better protect the health of the French population. While we are aware that the WHO guideline values are ambitious, their existence encourages more intense and innovative actions to reduce AP emissions. In light of these considerations, Santé publique France maintains that complying with the WHO guidelines would ultimately reduce mortality and morbidity attributable to air pollution in France, helping to achieve the objective of the WHO's Global Action Plan for the Prevention and Control of Noncommunicable Diseases, namely a one-third reduction in the risk of dying from a chronic disease by 2030.

KEY WORDS: AIR POLLUTION, MORBIDITY, QUANTITATIVE HEALTH IMPACT ASSESSMENT, ECONOMIC ASSESSMENT

Auteurs

Sylvia Medina¹, Magali Corso¹, Olivier Chanel², Vèrène Wagner¹, Perrine de Crouy-Chanel¹, Sabine Host³, Khadim Ndiaye³, Augustin Colette⁴, Elsa Real⁴, Séverine Deguen⁵, Sylvie Cassadou⁶, Francis Chin¹, Marie-Christine Delmas¹, Sandrine Fosse¹, Clémence Grave¹, Valérie Olié¹, Patrice Poinat⁶, Valérie Pontès¹, Nadine Allemand⁷, Myriam Blanchard¹

¹Santé publique France

²Aix-Marseille Univ, CNRS, AMSE (Aix-Marseille School of Economics), Marseille, France

³Observatoire régional de santé d'Île-de-France

⁴Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris)

⁵Inserm CIC1401 Université de Bordeaux

⁶Creai -Observatoire régional de santé Occitanie

⁷Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (Citepa)

Relecteurs

Pierpaolo Mudu WHO European Centre for Environment and Health, Bonn, Germany

Aymeric Ung Direction des maladies non transmissibles et traumatismes (DMNTT), Santé publique France

Remerciements

Nous tenons à remercier Michal Krzyzanowski (professeur invité à l'École de santé publique, Imperial College, Londres, Royaume-Uni), Francesco Forastiere (Conseil national de la recherche, Palerme, Italie et professeur invité à l'École de santé publique, Imperial College, Londres, Royaume-Uni), Pierpaolo Mudu et Dejan Loncar (Centre Environnement et Santé, OMS-EURO) pour leurs suggestions ; Heather Walton (School of Public Health, Imperial College, London) et Joe Spadaro (Environmental Research Scientist, affiliation) pour leurs commentaires sur le chapitre EQIS et pour leurs contributions au chapitre économique.

Nous voudrions également remercier Mathilde Pascal (Santé publique France, Direction santé environnement travail) pour ses réflexions sur le protocole de cette étude ; Delphine Jezewski-Serra, Laurence Mandereau-Bruno et Édouard Chatignoux, (Santé publique France, Direction Appui, traitements et analyses de données), Amélie Gabet et Jonathan Roux (Santé publique France, Direction des maladies non transmissibles et traumatismes) et Robin Lagarrigue (Santé publique France, Direction santé environnement travail) pour leur contribution à la définition et à la construction des indicateurs de santé ; Sabrina Delaunay-Havard (Santé publique France, Direction santé environnement travail), Pauline Morel (Santé publique France, Direction santé environnement travail), ainsi que Yannick Béjot et Patrice Antoine (Registre dijonnais des accidents vasculaires cérébraux) pour leur contribution au chapitre économique. Nous remercions également Stéphanie Vandentorren (Santé publique France, Direction scientifique et international) pour ses commentaires sur le chapitre consacré aux inégalités sociales de santé, ainsi que Véronique Ghersi (Airparif), Atmo Auvergne Rhône Alpes, Charles Schillinger (Atmo Grand Est), Wahida Kihal (CNRS), et Simon Leray (AirBreizh) pour leurs contributions à l'analyse au niveau de l'Iris.

Nous tenons enfin à remercier Guillaume Boulanger et Sébastien Denys (Santé publique France, Direction santé environnement travail), Aymeric Ung (Santé publique France, Direction des maladies non transmissibles et traumatismes), Mathieu Rouleau (Health Canada, Air Sectors Assessment and Exposure Science Division), Karla Cervantes-Martinez (Department of Environment, Climate Change and Health, WHO – HQ, Geneva, Switzerland), and Ingu Kim (Environment and Health Center, WHO-EURO, Bonn, Germany) pour leurs relectures attentives et suggestions.

Abréviations

AASQA	Association agréée de surveillance de la qualité de l'air
AEE	Agence européenne de l'environnement
AMSE	Aix-Marseille School of Economics
AMSTAR	A Measurement Tool to Assess Systematic Reviews
ALD	Affection de longue durée
ALRI	Pneumopathies et autres infections aiguës des voies respiratoires inférieures
AVC	Accident vasculaire cérébral
ATIH	Agence technique de l'information sur l'hospitalisation
BPCO	Bronchopneumopathie chronique obstructive
CAMS	Service européen Copernicus de surveillance de l'atmosphère
CépiDc	Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès
Cerema	Centre d'études et d'expertises sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
CIM	Classification internationale des maladies
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
Citepa	Centre interprofessionnel technique d'étude de la pollution atmosphérique
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
COG	Code officiel géographique
COMEAP	Committee on the Medical Effects of Air Pollutants
CREAI	Centre régional d'études, d'actions et d'informations en faveur des personnes en situation de vulnérabilité.
DCIR	Datamart de consommation inter régimes de l'Assurance maladie
Drees	Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques
EMAPEC	Estimating the Morbidity from Air Pollution and its Economic Costs
EQIS	Évaluation quantitative d'impact sur la santé
EPCI	Établissement public de coopération intercommunale
EPT	Établissement public territorial
EU-SILC	European Union – Statistics on Income and Living Conditions
FCR	Fonction concentration-risque
FDep	Indice français de désavantage social
F-EDI	French European Deprivation Index
HAS	Haute Autorité de santé
HRAPIE	Health risks of air pollution in Europe
HTA	Hypertension artérielle
IAM	Infarctus aigu du myocarde
IC 95%	Intervalle de confiance à 95 %
Ineris	Institut national de l'environnement industriel et des risques
INS	Inventaire d'émissions national spatialisé
Insee	Institut national de la statistique et des études économiques
Inserm	Institut national de la santé et de la recherche médicale
Iris	Ilots regroupés pour l'information statistique
ISS	Inégalités sociales de santé
IT	Interim Targets (cibles intermédiaires) des lignes directrices OMS sur la qualité de l'air
LCSQA	Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air
NO₂	Dioxyde d'azote

NO_x	Oxydes d'azote
OMS	Organisation mondiale de la santé
O₃	Ozone
ORS	Observatoire régional de la santé
PA	Pollution de l'air ambiant
PM₁₀	Particules de diamètre aérodynamique médian inférieur à 10 µ
PM_{2,5}	Particules de diamètre aérodynamique médian inférieur à 2,5 µ
P₅, P₂₅,...	Percentiles 5, 25, 50, 75, 95 de la distribution
PMSI	Programme de médicalisation des systèmes d'information
Psas	Programme de surveillance air et santé
RIM-P	Recueil d'information médicalisé pour la psychiatrie
RR	Risque relatif
SNDS	Système national des données de santé
Sniiram	Système national d'information interrégimes de l'Assurance maladie
µg/m³	Microgramme par mètre cube
US-EPA	Agence de protection de l'environnement des États-Unis
WHO	World Health Organization

Acronymes économiques

AVAQ	Année de vie ajustée sur la qualité
AVCI	Année de vie corrigée de l'incapacité
AVI	Année de vie avec incapacité
AVP	Année de vie perdue
CEPEM	Caractérisation des épisodes de pollution et évaluation des mesures mises en place
CAP	Consentement à payer
CI	Composante intangible
CS	Coûts sanitaires
EDC	Évaluation dynamique complète
GINA	Global Initiative for Asthma
HC	Healthcare Cost
IDH	Index de développement humain
IHME-GBD	Institute for Health Metrics and Evaluation – Global Burden of Disease
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
PIB	Produit intérieur brut
PP	Pertes de production
PPA	Parité de pouvoir d'achat
VAV	Valeur d'une année de vie
VEVE	Valeur économique sur la vie entière

Sommaire

Résumé.....	2
Abstract.....	4
Auteurs/Relecteurs.....	6
Remerciements.....	6
Abréviations.....	7
Acronymes économiques.....	8
1. INTRODUCTION.....	11
2. IMPACTS DE L'EXPOSITION À LONG TERME AUX POLLUANTS DE L'AIR AMBIANT SUR LA MORBIDITÉ.....	14
2.1. Objectifs de l'EQIS-PA.....	14
2.2. Méthode.....	14
2.2.1. Méthode standardisée pour évaluer l'impact sur la morbidité de la PA.....	14
2.2.1.1 Choix de la période et de la zone d'étude.....	15
2.2.1.2. Scénarios de réduction des concentrations de polluants.....	16
2.2.1.3. Estimation de l'exposition aux polluants de l'air ambiant.....	17
2.2.1.4. Choix des fonctions concentration-risque et des effets sur la santé étudiés.....	20
2.2.1.5. Données de santé.....	23
2.2.1.6. Données de population.....	26
2.2.1.7. Méthode de calcul de l'impact sur la morbidité.....	26
2.2.1.8. Analyses de sensibilité.....	26
2.3. Résultats.....	27
2.3.1. Analyses descriptives.....	27
2.3.1.1. Zone d'étude et données de population.....	27
2.3.1.2. Évolution des émissions en France hexagonale.....	28
2.3.1.3. Données d'exposition à la pollution dans l'air ambiant.....	32
2.3.1.4. Données de morbidité.....	35
2.3.2. Résultats de l'EQIS-PA.....	40
2.3.2.1. PM _{2,5} – cancer du poumon.....	40
2.3.2.2. PM _{2,5} – BPCO.....	42
2.3.2.3. PM _{2,5} – Asthme de l'enfant.....	43
2.3.2.4. PM _{2,5} – Accident vasculaire cérébral.....	45
2.3.2.5. PM _{2,5} – Infarctus aigu du myocarde (IAM).....	47
2.3.2.6. PM _{2,5} – Hypertension artérielle (HTA).....	48
2.3.2.7. PM _{2,5} – Diabète de type 2.....	50
2.3.2.8. NO ₂ – Asthme de l'enfant.....	52
2.3.2.9. NO ₂ – ALRI.....	54
2.3.2.10. NO ₂ – Asthme de l'adulte.....	56
2.4. Discussion.....	58
2.4.1. Synthèse des résultats.....	58
2.4.2. Interprétation des résultats.....	63
2.4.3. Incertitudes.....	64
3. PRISE EN COMPTE DES INÉGALITÉS SOCIALES DE SANTÉ.....	71
3.1. Objectif.....	71
3.2. Méthode.....	71
3.2.1. Scénarios de prise en compte du différentiel d'exposition selon la catégorie de défavorisation des communes :.....	71
3.2.2. Données de défavorisation sociale.....	71
3.2.3. Étapes de prise en compte des inégalités sociales.....	73
3.2.4. Analyses de sensibilité.....	73
3.3. Synthèse des résultats et interprétation.....	73

CONCLUSIONS	76
Références bibliographiques	78
ANNEXES	81
Annexe 1	81
Annexe 1a. Résumé de la stratégie EMAPEC pour la sélection des FCR recommandées pour une EQIS morbidité	81
Annexe 1b. Liste des fonctions concentration-risque recommandées par le projet EMAPEC	83
Annexe 2. Construction des indicateurs de santé	84
Pathologies respiratoires	84
1. Incidence du cancer du poumon	84
2. Incidence de l'asthme chez l'enfant	88
3. Incidence de l'asthme chez l'adulte	92
4. Incidence de la BPCO	94
5. Incidence d'infections aiguës des voies respiratoires inférieures (ALRI)	96
Pathologies cardiovasculaires	97
1. Incidence d'accident vasculaire cérébral (AVC)	97
2. Incidence d'infarctus aigu du myocarde (IAM)	99
3. Hypertension artérielle	101
Pathologies métaboliques	104
Incidence du diabète de type 2	104
Indicateurs de santé non retenus	106
Annexe 3. Résultats des analyses de sensibilité	109
3.1. Analyse de sensibilité pour l'incidence du cancer du poumon : estimation à partir des données de mortalité corrigées par le taux de survie national	109
3.2. Analyse de sensibilité de l'erreur de classification de l'exposition pour les données d'hospitalisation : exemple de l'AVC	111
3.3. Analyse de sensibilité utilisant une classe d'âge différente (30 ans et plus) pour le diabète type 2	113
3.4. Analyse de sensibilité de la méthode de prise en compte des faibles effectifs	115
Description des deux approches	115
Résultats descriptifs : distribution du taux d'incidence communal pour deux pathologies	115
Incidence sur le calcul d'impact : cas de l'Île-de-France	116
Annexe 4. Résultats régionaux	118
Annexe 5. Résultats de la prise en compte des ISS	138
5.1. Résultats descriptifs.....	138
Données de défavorisation sociale	138
5.2. Résultats de l'EQIS selon la classe de défavorisation sociale.....	139
5.2.1. PM _{2,5} – cancer du poumon.....	139
5.2.2. PM _{2,5} – Accident vasculaire cérébral.....	141
5.2.3. PM _{2,5} – Asthme de l'enfant.....	145
5.2.4. NO ₂ – Asthme de l'enfant.....	148
5.3. Analyse de sensibilité sur la défavorisation sociale à l'échelle de l'Iris dans quatre métropoles.....	151

1. INTRODUCTION

La pollution atmosphérique (PA) demeure l'un des plus grands risques environnementaux pour la santé dans le monde. Elle représente le quatrième facteur de risque de mortalité après l'hypertension artérielle, le tabac et les risques alimentaires. En 2019, au niveau mondial, la pollution de l'air ambiant était responsable de 4,2 millions de décès attribuables à l'exposition aux particules fines (PM_{2,5}), et dans la région OMS Europe, qui comprend 53 pays³, 568 936 décès (WHO 2022).

En France, pour la période 2016-2019, Santé publique France a évalué à près de 40 000 le nombre de décès attribuables annuellement à l'exposition aux PM_{2,5} d'origine anthropique (Adélaïde *et al.* 2021).

De nombreuses actions ont été menées ces dernières années dans le monde pour réduire la PA et ses effets sur la santé. Pourtant, dans les 27 États membres de l'Union européenne, bien que la situation soit moins grave que dans d'autres pays en Asie et au Moyen Orient, 97% de la population urbaine est toujours exposée à des niveaux de PM_{2,5}, provenant de diverses sources, qui dépassent les lignes directrices de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) (WHO 2021). Pour le dioxyde d'azote (NO₂), ce chiffre est de 94%, principalement en raison des émissions du transport routier⁴.

Dans une optique d'aide à la décision, les évaluations quantitatives d'impact sur la santé de la pollution atmosphérique (EQIS-PA) permettent de calculer les bénéfices atteignables par rapport à un scénario d'amélioration de la qualité de l'air pour une population donnée. Les EQIS PA utilisent pour cela des données environnementales et de santé spécifiques du territoire étudié ainsi que les résultats d'études épidémiologiques, notamment des revues systématiques de la littérature. Celles-ci rapportent un risque combiné issu de plusieurs études et quantifiant la relation entre les variations des concentrations d'un polluant et son impact sur la santé, exprimé par la fonction concentration-risque (FCR).

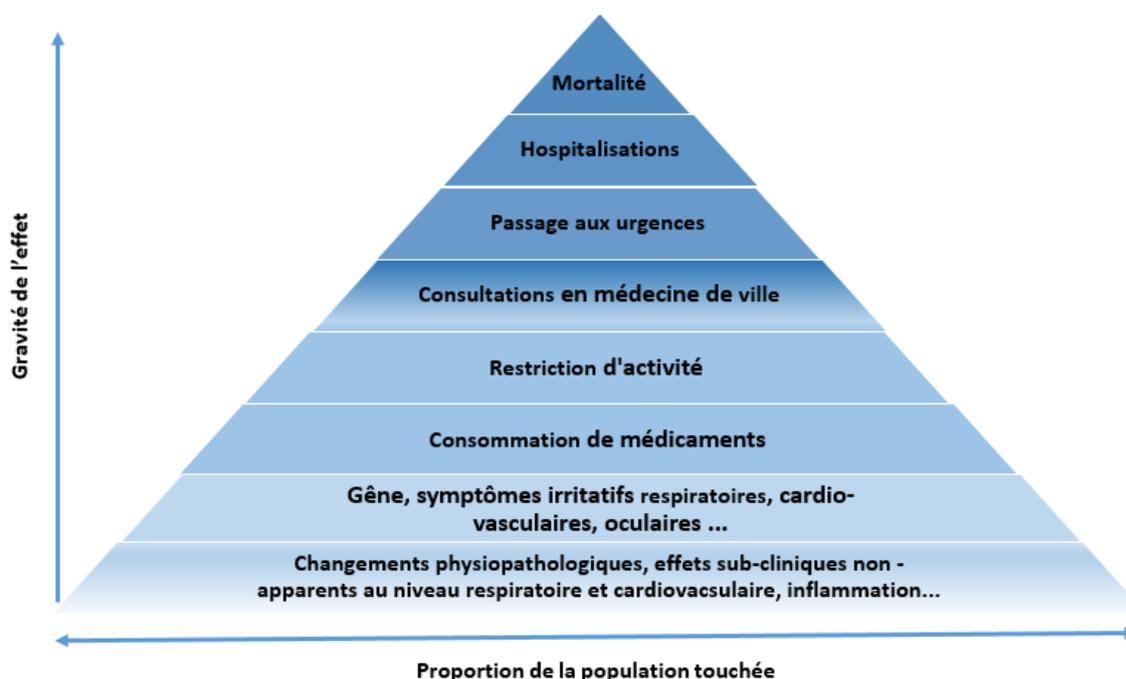
Les premières estimations de l'impact de la PA sur la santé ont été produites sur la mortalité à partir des premières fonctions exposition-risque disponibles. Cependant les effets sur la santé de la PA ne se limitent pas à l'impact sur la mortalité (Figure 1). L'exposition à long terme à la PA peut être à l'origine de maladies, notamment des maladies cardio-métaboliques et respiratoires dont le cancer du poumon. En effet, il existe de nombreuses études épidémiologiques qui montrent que l'exposition à la PA est associée à une augmentation de la morbidité⁵ avec, comme pour la mortalité, un impact plus important de l'exposition à long terme qu'à court terme (Burnett *et al.* 2018 ; GBD 2016 Risk Factors Collaborators 2017 ; Landrigan *et al.* 2018 ; Lelieveld *et al.* 2015 ; Pope *et al.* 2020 ; Gauderman *et al.* 2015 ; Kim *et al.* 2018 ; Adamkiewicz, Liddie, and Gaffin 2020 ; Steinle *et al.* 2020 ; Copat *et al.* 2020 ; Walton *et al.* 2021 ; Luyten *et al.* 2018). À court terme, l'exposition de quelques jours à quelques semaines peut conduire à une décompensation de pathologies préexistantes. À long terme, l'exposition au jour le jour sur des années contribue à l'apparition de maladies chroniques.

³ <https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/ambient-air-pollution-attributable-deaths>

⁴ [New EEA report on analysis of air quality in Europe – Energy in Demand – Sustainable Energy – Rod Janssen](#)

⁵ Les mesures de morbidité se réfèrent au nombre de personnes qui tombent malades dans une population donnée (incidence) ou sont malades à un moment donné (prévalence) [Principles of Epidemiology | Lesson 3 - Section 2 \(cdc.gov\)](#).

Figure 1 – Pyramide des effets sur la santé de la pollution atmosphérique



En diminuant les niveaux de PA, l'OMS estime que les autorités peuvent réduire le poids (ou fardeau) de morbidité imputable à différentes maladies chroniques. Par conséquent, dans la mesure du possible, les EQIS-PA devraient inclure également les impacts sur la morbidité (WHO 2016).

C'est précisément l'un des objectifs du projet de l'OMS « Estimation de la morbidité due à la pollution atmosphérique et de ses coûts économiques »⁶ (EMAPEC) auquel contribue Santé publique France.

Pour cela, ce projet, vise à mettre à jour les recommandations du projet « Health risks of air pollution in Europe » (HRAPIE) publiées en 2013 et recommande des fonctions concentrations risques (FCR) pour les EQIS-PA et des analyses coût-bénéfice sur les relations entre les PM et le NO₂, et des indicateurs de morbidité.

Ce projet a, pour cela, évalué les revues systématiques de la littérature et les méta-analyses en appliquant la grille d'analyse AMSTAR2 (A Measurement Tool to Assess systematic Reviews)⁷ adaptée au cas de la PA (Forastiere et al. 2024). Les travaux du groupe EMAPEC ont ainsi permis de classer ces FCR en fonction du degré de confiance dans les études disponibles, sur la base de critères tels que le nombre d'études incluses dans les revues systématiques, et la cohérence entre les estimations produites par les différentes études de chaque revue systématique. Les estimations (méta-risques) issues des méta-analyses utilisés comme FCR dans l'EQIS-PA décrite ci-après, proviennent donc uniquement de méta-analyses épidémiologiques de bonne qualité sur des couples polluant-indicateur de santé pour lesquels la causalité a été établie (US-EPA 2016).

Le projet EMAPEC⁶ a inclus également plusieurs études de cas dans différents pays et échelles géographiques afin d'illustrer la méthode développée par le projet dans différentes situations. Pour la France, trois études de cas sur trois indicateurs de santé ont été réalisées pour la période 2016-2019 (publication à venir) : une au niveau national, en France hexagonale (publication à venir), une dans la région Hauts de France (publication à venir), et la troisième dans la métropole du grand Paris (publication à venir)⁸. Les trois échelles ont été choisies pour appuyer la prise de décision au niveau national, régional et local.

⁶ [Estimating the morbidity from air pollution and its economic costs \(who.int\)](https://www.who.int/air-pollution/estimating-morbidity)

⁷ Échelle de qualité méthodologique pour les revues de littérature systématiques (https://amstar.ca/About_Amstar.php)

⁸ Les mesures de morbidité se réfèrent au nombre de personnes qui tombent malades dans une population (incidence) ou sont malades à un moment donné (prévalence) [Principles of Epidemiology | Lesson 3 - Section 2 \(cdc.gov\)](https://www.cdc.gov/epidemiology/lesson3-section2).

De plus, une étude exploratoire sur la contribution de la PA aux **inégalités sociales de santé** (ISS) en France hexagonale a été également réalisée (Unicef 2021).

Ces EQIS-PA réalisées dans le cadre du projet EMAPEC ont été poursuivies et enrichies dans le cadre du programme de surveillance "Air et santé" (le Psas). Elles ont été étendues à d'autres indicateurs de santé parmi ceux proposés par EMAPEC. Au total, les impacts des PM_{2,5} et du NO₂ sur les indicateurs de santé suivants ont été analysés :

- Au niveau respiratoire : cancer du poumon, bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO), asthme de l'enfant et de l'adulte, infections aiguës des voies respiratoires inférieures (grippe exclue) (ALRI) ;
- Au niveau cardiovasculaire : accident vasculaire cérébral (AVC), infarctus aigu du myocarde (IAM), hypertension artérielle (HTA) ;
- Au niveau métabolique : diabète de type 2.

Nous présentons ici l'EQIS-PA réalisée en **France hexagonale** et une quantification **économique** à partir des résultats de l'EQIS est proposée dans le **volume 2** de ce travail.

2. IMPACTS DE L'EXPOSITION À LONG TERME AUX POLLUANTS DE L'AIR AMBIANT SUR LA MORBIDITÉ

2.1. Objectifs de l'EQIS-PA

L'objectif général de cette EQIS-PA est d'appliquer les recommandations du projet EMAPEC coordonné par l'OMS afin d'estimer l'impact de la PA sur la morbidité à long terme en France hexagonale pour la période 2016-2019.

Dans le présent rapport, la méthode EMAPEC est décrite et appliquée à une sélection d'indicateurs de morbidité parmi ceux recommandés par le projet EMAPEC (Annexe 1) en fonction des possibilités de les construire en France.

À noter que la construction de ces indicateurs de santé a posé de nombreuses questions méthodologiques qui, pour certaines, peuvent limiter la portée de leurs résultats. La description détaillée des indicateurs et leurs limites figurent en Annexe 2.

2.2. Méthode

2.2.1. Méthode standardisée pour évaluer l'impact sur la morbidité de la PA

La méthode EQIS a été utilisée par l'OMS dans de très nombreuses études pour analyser et illustrer l'impact de la PA sur la santé publique (WHO 2016).

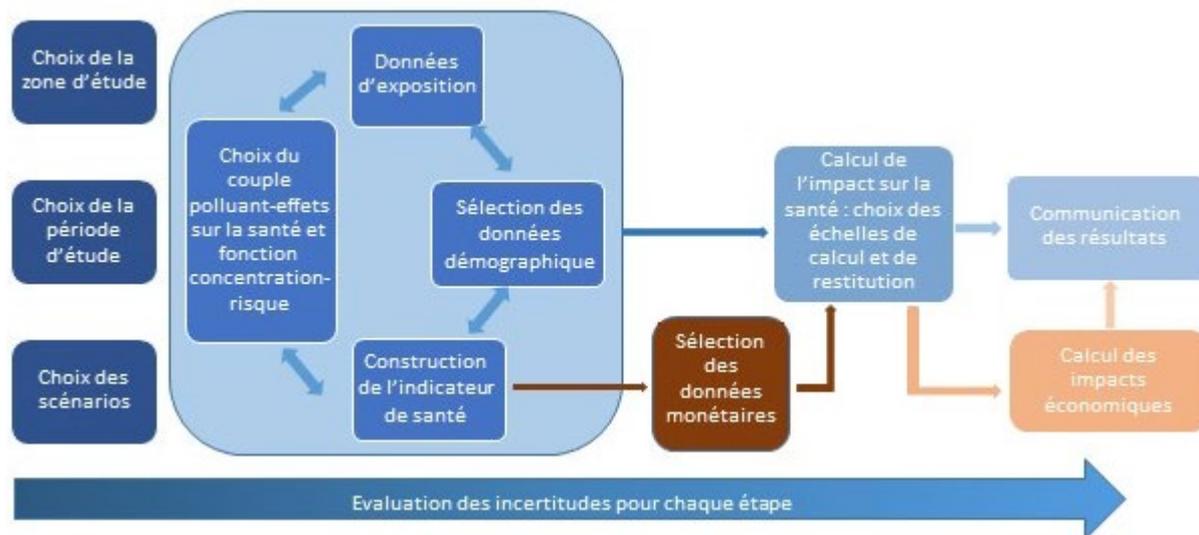
La raison d'être d'une EQIS-PA repose sur l'hypothèse d'un lien de causalité établi entre l'exposition à la PA et certains effets sur la santé. Ce lien repose principalement sur la relation concentration-risque (plus les niveaux de pollution sont élevés, plus le risque pour la santé est élevé), la relation temporelle (l'exposition précède l'effet), la cohérence de l'association (sa répétition dans le temps et l'espace), et surtout sur la notion de plausibilité biologique de l'effet de la PA sur la santé (Hill 1965). Cette plausibilité est basée sur de nombreuses études mécanistiques, toxicologiques et épidémiologiques (Hill 1965 ; Jaligama *et al.* 2018 ; Harmon *et al.* 2018 ; European Respiratory Society ; WHO 2013 ; US-EPA 2016 ; Petit *et al.* 2017).

Dans notre étude, l'approche dite contrefactuelle a été utilisée. Elle permet d'estimer l'impact sur la santé et économique attendu d'une baisse de la PA, toutes choses égales par ailleurs. Cependant, dans le volet économique une approche intégrant la temporalité (délai entre la baisse d'exposition et ses impacts) sera également prise en compte.

Le principe du calcul de l'EQIS-PA est détaillé dans le guide EQIS-PA (Pascal, Yvon, and Medina 2019). La relation entre $PM_{2.5}$ et NO_2 et morbidité étant basée sur une hypothèse d'absence de seuil (WHO 2013 ; Chen and Hoek 2020 ; Huangfu and Atkinson 2020), toute baisse des concentrations se traduit par une diminution de la morbidité pour la population exposée.

La mise en œuvre pratique d'une EQIS comprend plusieurs étapes interdépendantes détaillées dans la Figure 2. À chaque étape, l'objectif est d'obtenir la meilleure adéquation possible entre les données utilisées pour l'EQIS (population étudiée, indicateurs environnementaux, indicateurs de santé) et celles utilisées dans les études épidémiologiques qui ont conduit à l'estimation des FCR utilisées.

Figure 2 – Étapes d'une évaluation quantitative d'impact sur la santé de la pollution atmosphérique (EQIS-PA) et d'une évaluation économique



Dans les sections suivantes sont détaillés les choix appliqués pour les différentes étapes de l'EQIS-PA morbidité. Ils suivent les recommandations émises par Santé publique France (Pascal, Yvon, and Medina 2019) et par le projet EMAPEC.

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

- Période d'étude

La réalisation d'une EQIS-PA nécessite idéalement 3 années de données, en évitant les années atypiques, en particulier du point de vue météorologique (par exemple, une canicule intense) et sanitaire (par exemple, la Covid-19) afin de lisser les variations saisonnières annuelles des concentrations de PA et des données de santé.

Dans le cadre de cette étude, nous avons sélectionné une période de quatre années, allant de 2016 à 2019, avec des données de PA et de santé disponibles. Cette période a été choisie en cohérence avec la période retenue pour l'EQIS-PA sur la mortalité et afin d'éviter la période plus récente impactée par la pandémie de Covid-19 (Adélaïde *et al.* 2021).

- Zone d'étude

L'étude a été réalisée sur l'ensemble du territoire de la France hexagonale. Les calculs ont été réalisés à l'échelle communale, sur la base du référentiel du Code officiel géographique (COG) des communes de 2018.

Les communes ont été catégorisées selon leur caractère urbain ou rural. En 2020, l'Insee a actualisé sa méthode de caractérisation du territoire en recourant à de nouveaux critères reposant sur la densité de la population et la polarisation de l'espace par des pôles urbains exerçant une influence plus ou moins forte sur le territoire environnant (recours aux services, emploi...). Jusqu'alors, c'est l'appartenance des communes aux unités urbaines, classées selon la taille de leur population, qui était couramment utilisée pour cette catégorie. Désormais, l'Insee recommande d'opter pour les nouvelles méthodes de catégorisation du territoire s'appuyant sur les grilles de densité.

Pour ce travail, la grille de densité de l'Insee a été retenue, en ajoutant une classe de « communes densément peuplées au sein d'une métropoles », ce qui permet d'accentuer la précision de la typologie de l'espace urbain (Insee 2021). Cette classe est construite en sélectionnant les communes caractérisées comme « urbaines denses » par la grille de densité de l'Insee, et faisant partie d'une métropole (classement des EPCI 2018). Les deux premières classes de la grille

caractérisant l'espace rural (rural autonome peu dense et rural autonome très peu dense) ont été regroupées en une seule et même classe.

Les résultats sont présentés pour la France hexagonale entière et selon cette classification :

- les communes rurales « autonomes, peu denses à très peu denses »
- les communes rurales « sous faible influence d'un pôle »
- les communes rurales « sous forte influence d'un pôle »
- les communes urbaines de densité intermédiaire
- les communes « urbaines denses »
- les communes « urbaines denses au sein d'une métropole »

2.2.1.2. Scénarios de réduction des concentrations de polluants

Les scénarios suivants ont été retenus pour les calculs de l'EQIS-PA pour estimer les bénéfices attendus sur la morbidité d'une baisse des expositions à la pollution de l'air.

- Si les nouvelles lignes directrices de l'OMS (AQG) sur la qualité de l'air étaient respectées
 - Scénario 1a : Nombre de cas évités une année donnée si les niveaux de PA ne dépassaient pas la valeur guide annuelle de l'OMS 2021 (inférieure à $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les $\text{PM}_{2,5}$ et à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le NO_2) ; seuls les impacts de la pollution dépassant des valeurs guide OMS sont estimés ;
 - Scénario 1b⁹ : Nombre de cas évités une année donnée si les niveaux de PA ne dépassaient pas la cible intermédiaire (IT) annuelle n° 4 de l'OMS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle pour les $\text{PM}_{2,5}$) et l'IT annuelle n° 3 de l'OMS ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle pour le NO_2) ; de nouveau, seuls les impacts de la pollution dépassant le niveau IT4 /IT3 sont estimés.
- Si les niveaux de PA atteignaient les niveaux sans pollution anthropique

Notre objectif ici était d'estimer le fardeau ou poids total de la PA sur la santé en l'absence de toute PA anthropique, quelle que soit son origine. Afin d'estimer les niveaux de concentration sans pollution anthropique, deux méthodes différentes ont été utilisées suivant le polluant étudié :

- Pour le NO_2 , les plus faibles niveaux de concentrations annuelles mesurés sur les stations rurales nationales ont été pris comme concentration « sans pollution anthropique » ; soit une valeur de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (source : www.geodair.fr).
- Pour les $\text{PM}_{2,5}$, le recours aux observations en zone rurale ne paraît pas pertinent au vu de la durée de vie assez longue de ces particules qui peuvent être transportées depuis les zones anthropiques d'émissions vers les zones rurales où elles sont mesurées. L'estimation de la concentration sans pollution s'est donc basée sur le calcul de la part naturelle des $\text{PM}_{2,5}$ (y compris les particules biogéniques secondaires, le sel marin, la poussière et les feux de forêt) calculées dans les modélisations de l'Ineris. En moyenne annuelle et sur le territoire, une valeur de $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est estimée. Compte tenu des incertitudes associées à la modélisation, nous avons préféré établir cette valeur pour les $\text{PM}_{2,5}$ à $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. À noter cependant certaines limites puisque cette part naturelle est estimée dans les conditions actuelles, mais en l'absence de pollution anthropique, certaines réactions de création ou de destruction de polluants secondaires biogéniques n'auraient plus lieu et le résultat pourrait être différent. De plus, nous utilisons une valeur moyenne pour la France, alors que la modélisation montre de forts gradients spatiaux.

⁹ Ce scénario correspond également à la nouvelle directive européenne relative à la qualité de l'air ambiant.

NOTE : ce scénario est appliqué à des valeurs de concentration de polluants inférieures à la plage minimale d'application des FCR recommandées par EMAPEC. Dans ce scénario, nous avons fait l'hypothèse que ces fonctions sont linéaires et sans seuil, et restent donc applicables lorsque les niveaux d'exposition tendent vers zéro. Cela conduit à de l'incertitude comparé aux scénarios se limitant au respect des valeurs OMS.

2.2.1.3. Estimation de l'exposition aux polluants de l'air ambiant

L'estimation de l'exposition a été réalisée par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris).

Elle s'est basée sur la modélisation des indicateurs d'exposition à l'échelle de la commune (c'est-à-dire les concentrations maximales quotidiennes, les concentrations annuelles...). Les concentrations journalières à une résolution de 1 à 4 km ont été estimées par une combinaison entre le modèle de qualité de l'air CHIMERE (cf. partie sur le modèle CHIMERE) et les mesures effectuées par les stations de mesure des AASQA. Ces concentrations ont été ensuite superposées aux données de population au niveau des bâtiments et agrégées par commune pour calculer des indicateurs d'exposition communaux correspondant aux concentrations pondérées par la population. Ces indicateurs d'exposition ont été produits sur une base horaire et, par la suite, moyennés sur une base journalière ou en maxima journaliers.

Le modèle CHIMERE

Le modèle CHIMERE (Mailler *et al.* 2017 ; Menut *et al.* 2021) est un modèle de chimie-transport développé par le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) et l'Ineris utilisé pour la recherche sur la qualité de l'air et l'application allant de la prévision à court terme (Marécal *et al.* 2015) à la projection à l'échelle du climat (Colette *et al.* 2017) et aux études de scénarios de réduction des émissions (Schucht *et al.* 2018). Ce modèle numérique regroupe un ensemble d'équations représentant le transport et la transformation des composés chimiques, et permet de quantifier l'évolution d'un panache de polluants en fonction du temps sur différents domaines (de l'urbain au continental). CHIMERE utilise des données météorologiques et de flux d'émissions pour calculer des champs horaires tridimensionnels de concentrations de polluants dans l'atmosphère. Plus d'une centaine de composés gazeux sont modélisés dont l'ozone et les oxydes d'azote mais aussi les particules.

Données d'émissions

L'inventaire d'émissions utilisé comme données d'entrée du modèle est issu des données rapportées dans le cadre de la Convention Air des Nations Unies et des directives, mis à jour pour l'année de simulation. Ces données couvrent l'ensemble de l'Europe à une résolution de 0,1° x 0,05°.

En France, les données d'inventaires des émissions de PM_{2,5} et NO_x à l'échelle de l'hexagone sont disponibles à partir des travaux réalisés par le Citepa pour le Ministère de la Transition écologique et la cohésion des territoires (MTECT). Le rapport SECTEN en particulier a été utilisé¹⁰.

La méthodologie de réalisation des inventaires des émissions de polluants et de gaz à effet de serre est largement détaillée dans le chapitre « comprendre les données » du rapport SECTEN.

Toutefois, il est à noter que pour les particules, la méthodologie d'estimation des émissions a évolué ces dernières années. En effet la fraction condensable des particules a été introduite depuis l'édition 2019 de l'inventaire national pour être en accord avec les guidelines internationales de réalisation des inventaires des émissions de polluants. En effet, à l'émission des sources de combustion notamment, les particules sont composées de fractions filtrables et condensables. Les particules filtrables sont à l'état solide ou liquide et sont piégées sur les filtres chauffés utilisés lors de la mesure

¹⁰ Citepa, 2023. Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques. Bilan des émissions en France de 1990 à 2022. Rapport Secten éd. 2023.

de leurs concentrations. Les particules condensables sont à l'état gazeux dans la cheminée mais se retrouvent ensuite à l'état solide ou liquide dans l'atmosphère à la suite de phénomènes de refroidissement ou de dilution. Lorsqu'une mesure de concentration en particules est réalisée dans la cheminée, selon les méthodes employées, soit seules les particules filtrables sont détectées (ce qui est le cas avec les moyens de mesures les plus communément employés), soit l'ensemble des filtrables et des condensables le sont. Les méthodes de mesure avec tunnel de dilution par exemple, permettent de mesurer les fractions filtrables et condensables dans leur ensemble. La fraction condensable peut être notamment très élevée dans le cas de la combustion incomplète du bois dans les appareils domestiques de chauffage.

Dans les inventaires réalisés avant 2019 en France, seule la fraction filtrable pouvait être prise en compte de façon générale, excepté quelques secteurs comme les transports dont les facteurs d'émissions intégraient déjà la fraction condensable. En 2022, les émissions de particules liées à la combustion du bois dans les installations domestiques de chauffage ont notamment été révisées pour mieux prendre en compte la fraction condensable des PM_{2,5} mais aussi l'évolution des performances des appareils de combustion.

Données d'exposition ré-analysées

Pour l'évaluation de l'exposition, les concentrations de polluants modélisées à la surface ont été ajustées (ou corrigées) pour mieux représenter la situation réelle. Les données utilisées pour cela sont issues de la cartothèque de l'Ineris¹¹, avec une mise à jour récente pour les données de NO₂. Une méthode géostatistique de fusion de données a été utilisée, permettant de combiner les observations in situ des stations de mesure exploitées par les AASQA et les concentrations simulées par le modèle. Pour les particules PM_{2,5}, un co-krigeage permet de prendre en compte la corrélation entre les PM₁₀ et les PM_{2,5}, et donc d'améliorer l'estimation des deux polluants. La résolution disponible pour les PM_{2,5} à 4 km par rapport à 2 km ne fait pas de différence significative, alors qu'elle en fait pour le NO₂. Les études de validation croisée que nous avons pu réaliser (Real *et al.*, 2015) montrent qu'avec une résolution de 4 km par 4 km, les concentrations de fond des PM₁₀ et PM_{2,5} (fond urbain, suburbain et rural) sont bien représentées, ce qui est moins le cas pour le NO₂, car les gradients de concentration pour ce dernier polluant sont plus importants que pour les particules. Dans ce dernier cas, l'augmentation de la résolution à 1 km par 1 km fait vraiment une différence. Pour le NO₂, les émissions de NO_x sur le domaine ont été également ajoutées en dérive externe du krigeage (en plus du modèle) ce qui permet d'éviter une dispersion spatiale trop importante des concentrations qui aurait conduit à surestimer les concentrations en milieu rural.

Toutes les données ont été produites sur une base quotidienne pour la période 2016-2019. Ces données, combinent modélisations et mesures sur une maille d'environ 1 km par 1 km pour le NO₂ sur l'ensemble de la période et 4 km par 4 km sur les années 2016-2017 puis 2 km par 2 km sur les années 2018-2019 pour les PM_{2,5} et l'ozone (Tableau 1).

Tableau 1 – Résolutions des données de concentrations des polluants par année utilisées

	2016	2017	2018	2019
PM_{2,5}	4 km x 4 km	4 km x 4 km	2 km x 2 km	2 km x 2 km
NO₂	1 km x 1 km			

Pondération par la population

Les concentrations ré-analysées ont ensuite été agrégées à un niveau communal en les pondérant par la population. La base de données de population utilisée dans cette étude est la base de données nationale de population LCSQA (Létinois 2014) établie pour l'année 2016. Elle est basée sur des fichiers détaillés du ministère des Finances français avec des informations de population au niveau des bâtiments. Ces données de population ont d'abord été spatialisées sur la grille de modélisation au prorata de la surface d'intersection de ces bâtiments avec chaque maille de la grille, avant d'être utilisées pour la pondération.

¹¹ <https://www.ineris.fr/fr/recherche-appui/risques-chroniques/mesure-prevision-qualite-air/qualite-air-france-metropolitaine>

Cette méthode de pondération de la population permet de prendre en compte la localisation de la population pour estimer les niveaux de pollution d'une commune. Les zones non peuplées ou très peu peuplées de la commune ne sont pas prises en compte avec la même intensité que les zones densément peuplées.

En définitive, la donnée d'entrée de l'EQIS-PA pour chaque commune de la zone d'étude est la différence obtenue entre l'exposition moyenne annuelle estimée sur la période 2016-2019 et le seuil du scénario retenu (ou 0 si la concentration est déjà inférieure au seuil), du fait de la linéarité de la FCR.

Tableau 2 – Synthèse des données d'exposition à la PA, 2016-2019

Indicateur de pollution	Source de données	Modèle	Inventaire des émissions	Re-analyse	Agrégation et pondération par la population	Résolution spatiale
PM_{2,5} Long terme : Concentrations moyennes annuelles pondérées par la population	Ineris ¹²	CHIMERE ¹³ (Mailler <i>et al.</i> 2017)	L'inventaire d'émissions utilisé comme données d'entrée du modèle est issu des données européennes CEIP/EEA ¹⁴ , mis à jour pour l'année de simulation.	Méthode géostatistique combinant données in situ des stations de mesures (opérées par les AASQA ¹⁵) et les concentrations simulées par le modèle.	Concentrations ré-analysées à une résolution de 4 km par 2 km puis agrégées à l'échelle communale en les pondérant par la population. Base de données de population: données de population du LCSQA (Létinois 2014) pour l'année 2016 permettant une répartition aux bâtiments ¹⁶ .	4 km par 4 km (2016-2017) et 2 km par 2 km (2018-2019) sur une base journalière pendant la période d'étude.
NO₂ Long terme : Concentrations moyennes annuelles pondérées par la population	Ineris	CHIMERE	Pour les données d'émissions NO ₂ utilisées comme proxy pour la méthode géostatistique, les données de l'INS ¹⁷ sont utilisées.	Méthode géostatistique combinant données in situ des stations de mesures (opérées par les AASQA), données d'émissions et les concentrations simulées par le modèle.	Concentrations ré-analysées à une résolution de 1 km puis agrégées à l'échelle communale en les pondérant par la population.	1 km par 1 km sur une base journalière pendant la période d'étude.

2.2.1.4. Choix des fonctions concentration-risque et des effets sur la santé étudiés

Les effets sur la santé des différents polluants sont de mieux en mieux documentés. Par un stress oxydatif et une action pro-inflammatoire principalement, la PA provoque ou aggrave des maladies principalement au niveau respiratoire, cardiovasculaire, métabolique et neurologique, comme le montre l'analyse des revues systématiques EMAPEC (HEI Panel on the Health Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution 2022 ; Khreis *et al.* 2017 ; Park *et al.* 2021 ; Yuan *et al.* 2019 ; Zhu *et al.* 2021 ; Cheng *et al.* 2022 ; Qin *et al.* 2021 ; Yang *et al.* 2020 ; Lin *et al.* 2022 ; Yu *et al.* 2021) (Figure 3).

¹² Ineris: Institut National de l'Environnement et des Risques Industriels.

¹³ CHIMERE : modèle de chimie-transport développé par le Centre National de Recherche Scientifique (CNRS) et l'Ineris.

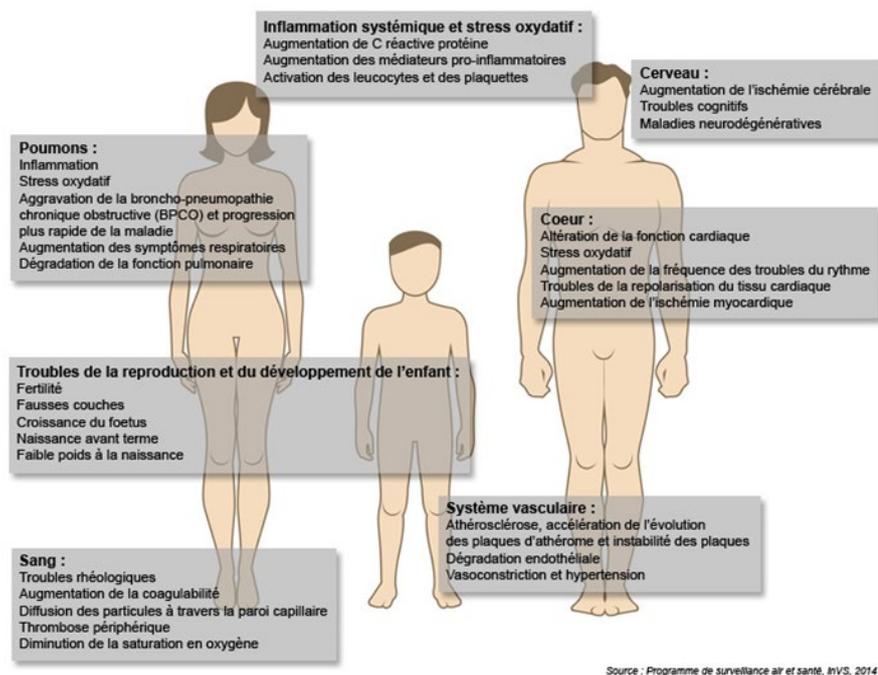
¹⁴ Ces émissions sont basées sur les données officielles de rapportage européen dans la mesure du possible, mais certaines données non-officiellement rapportées sont utilisées pour correction ou pour les données manquantes.

¹⁵ AASQA: Association agréées de surveillance de la qualité de l'air.

¹⁶ Pondération de la population : Les données de population sont d'abord spatialisées sur la grille de modélisation au prorata de la zone d'intersection avec chaque cellule de la grille, avant d'être utilisées pour la pondération. Cette méthode de pondération de la population permet de prendre en compte la localisation de la population pour estimer les niveaux de pollution d'une municipalité. Les zones non peuplées ou très peu peuplées de la commune ne sont pas prises en compte avec la même intensité que les zones densément peuplées.

¹⁷ INS: Inventaire d'émissions national spatialisé.

Figure 3 – Principaux effets sur la santé de la pollution de l'air ambiant



Une stratégie d'évaluation systématique de la littérature internationale disponible et des méta-analyses épidémiologiques a été mise en œuvre par le projet EMAPEC. Une description détaillée de la méthode est fournie dans l'article de (Forastiere *et al.* 2024). Un bref résumé figure en Annexe 1a.

En particulier, sur la base des FCR identifiées dans le projet EMAPEC, les couples polluants-indicateurs de santé ont été classés en trois listes en fonction de la qualité de l'évidence épidémiologique.

- **Liste A** : couples polluant-effet sur la santé pour lesquels la causalité est établie¹⁸, preuves solides provenant d'une méta-analyse ; quantification fiable des effets possibles dans une EQIS ;
- **Liste B+** : couples polluant-effet sur la santé pour lesquels la causalité est établie, preuves modérées provenant d'une méta-analyse OU il y a une évidence suggestive de causalité et des preuves solides provenant d'une méta-analyse ; l'EQIS est possible, mais la précision de la FCR est plus incertaine que pour les couples de la liste A ;
- **Liste B-** : couples polluant-effet sur la santé pour lesquels la causalité est établie ET il y a une faible évidence provenant d'une méta-analyse OU il y a une évidence suggestive de causalité ET une évidence modérée d'une méta-analyse ; l'EQIS n'est pas recommandée en raison de l'incertitude substantielle de la FCR.

Seules les listes A et B+ sont recommandées par EMAPEC et utilisées pour l'EQIS-PA morbidité.

L'ensemble des couples polluants-indicateurs de santé proposés par le projet EMAPEC et leurs caractéristiques sont présentés en Annexe 1b.

Dans le tableau ci-après sont résumés les couples et FCR retenus pour l'EQIS-PA en France (Tableau 3).

Note : Les démences font partie des indicateurs recommandés par EMAPEC, de même que les troubles du spectre autistique (TSA) (Annexe 1). Cependant ils n'ont pas été retenus dans l'EQIS-PA morbidité France du fait que pour les démences, l'indicateur disponible en France concerne

¹⁸ Le terme "établi" comprend les termes "causal" et "susceptible d'être causal".

les personnes de moins de 64 ans et ne représente qu'une très faible part des cas de démence, et du fait qu'un algorithme de repérage plus robuste des démences chez les personnes âgées sera disponible dans l'année à venir. Les troubles du spectre autistique (TSA) n'ont pas été retenus du fait qu'un algorithme de repérage est en cours d'élaboration.

Tableau 3 – Couples polluant-indicateur de santé et fonctions concentrations-risques utilisées pour l'EQIS-PA morbidité (source : EMAPEC, 2023)

Indicateurs de santé (incidence)	Codes CIM-10	Classes d'âge (ans)*	Liste	FCR (IC95%) pour 10 µg/m ³	Étendue d'exposition moyenne (µg/m ³)**	Références de la revue systématique
Exposition à long terme aux PM_{2,5}						
Au niveau respiratoire						
Cancer du poumon	C34	30+	A	1,16 (1,10 - 1,23)	5 - 44	Yu <i>et al.</i> (2021)
Bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO)	J43 – J44	30+	A	1,18 (1,13 - 1,23)	5 - 26	Park <i>et al.</i> (2021)
Asthme de l'enfant	J45	0 - 18	A	1,34 (1,10 - 1,63)	5 - 38	Khreis <i>et al.</i> (2017)
Au niveau cardiovasculaire						
Accident vasculaire cérébral (AVC)	I60 – I64	30+	A	1,16 (1,12 - 1,20)†	5 - 36	Yuan <i>et al.</i> (2019)
Infarctus aigu du myocarde (IAM)	I21 – I22	30+	A	1,13 (1,05 - 1,22)†	5 - 65	Zhu <i>et al.</i> (2021)
Hypertension artérielle (HTA)	I10 – I11	30+	A	1,17 (1,05 - 1,30)†	5 - 77	Qin <i>et al.</i> (2021)
Au niveau métabolique						
Diabète de type 2	E11 – E14	30+	B+	1,10 (1,03 - 1,18)†	5 - 79	Yang BY <i>et al.</i> (2020)
Exposition à long terme au NO₂						
Asthme de l'enfant	J45	0 - 18	A	1,10 (1,05 - 1,18)	10 - 39	Khreis <i>et al.</i> (2017)
Asthme de l'adulte	J45	19+	A	1,10 (1,01 - 1,21)	10 - 40	HEI (2022)
Pneumopathies et autres infections aiguës des voies respiratoires inférieures (ALRI)	J12 – J18, J20 – J22	0-12	A	1,09 (1,03 - 1,16)	10 - 56	HEI (2022)

† Estimation de la fonction concentration-risque à partir de la méta-analyse révisée réalisée dans le cadre du projet EMAPEC

* Les classes d'âge présentées dans ce tableau sont celles proposées par le projet EMAPEC mais il est possible de réduire l'étendue si cela semble pertinent.

** Dans les zones avec des niveaux de PA inférieurs à la valeur minimale de l'étendue présentée dans ce tableau, les résultats sont plus incertains.

2.2.1.5. Données de santé

Les données de santé collectées et la construction des indicateurs de santé doivent correspondre autant que possible à celles utilisées dans les études épidémiologiques qui ont permis d'établir les FCR sélectionnées pour l'EQIS.

En fonction de la disponibilité des données permettant d'approcher une incidence en France pour la période 2016-2019, les indicateurs de morbidité construits concernent :

- **en lien avec les PM_{2,5}**: cancer du poumon, asthme de l'enfant, bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO), accident vasculaire cérébral (AVC), infarctus aigu du myocarde (IAM), hypertension artérielle (HTA), et diabète de type 2.
- **en lien avec le NO₂** : asthme de l'enfant et de l'adulte et pneumopathies et autres infections aiguës des voies respiratoires inférieures (grippe exclue) (ALRI).

Le nombre de cas incidents à la commune pour le cancer du poumon a été estimé à partir des taux départementaux publiés par Santé publique France et le réseau Francim¹⁹ basés sur de la calibration d'indicateurs dérivés de bases médico-administratives (ALD et PMSI) par les incidences des départements couverts par un registre de cancer (sur la période 2007-2016).

Le nombre de cas incidents à la commune pour les autres pathologies considérées a été approché en mobilisant différentes bases de données disponibles dans le SNDS (système national des données de santé), base de données médico-administratives pseudonymisées couvrant de façon quasi-exhaustive la population française et contenant l'ensemble des soins présentés au remboursement et les décès, à savoir :

- données de remboursements de l'Assurance Maladie (datamart de consommation inter-régimes - DCIR), utilisées pour les calculs d'incidence de l'asthme (enfant, adulte), de la BPCO, de l'HTA et du diabète de type 2 ;
- données des hôpitaux (base du programme de médicalisation des systèmes d'information – PMSI, utilisées pour les calculs d'incidences de la BPCO, de l'AVC, des ALRI (grippe exclue) et de l'IAM ;
- données sur les causes médicales de décès (base du centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès de l'institut national de santé et de la recherche médicale – CépiDC de l'Inserm), utilisées pour les incidences du cancer du poumon en analyse de sensibilité (cf. section 2.2.1.8).

Ces données ne permettent pas d'identifier directement les nouveaux cas des pathologies étudiées mais de les approcher à partir du recours à différents types de soins de ces pathologies.

Ci-après un tableau récapitulatif des indicateurs de santé construits avec une description de leurs principales caractéristiques. Le protocole détaillé de construction de ces indicateurs et leurs limites d'interprétation figurent en A 2.

Les codes CIM-10 et les tranches d'âge du tableau ci-dessous (Tableau 4) ne sont pas toujours ceux proposés par le projet EMAPEC, ils ont été modifiés après avis d'experts français afin de tenir compte des particularités en France en termes de caractéristiques des sources de données utilisées et des pratiques de soins et de la maladie plus globalement (pour plus de détails : Annexe 2).

¹⁹ Étude collaborative Réseau Francim, Hospices civils de Lyon, Santé publique France et Institut national du cancer : <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/cancers/articles/estimations-regionales-et-departementales-de-l-incidence-et-de-la-mortalite-par-cancer-en-france-2007-2016>

Tableau 4 – Synthèse des indicateurs de santé retenus pour l'EQIS morbidité en France, 2016-2019
(source : Santé publique France)

Indicateur de santé (incidence)	Classe d'âge	Source de données	Définition de cas	Agrégation	Population à risque
Pathologies respiratoires					
Cancer du poumon	35 ans et plus	Santé publique France et réseau Francim (CIM-10 : C34)	Première identification dans les bases de données médico-administratives et ajustées sur les données des registres	Taux départemental extrapolé des registres 2006-2017 appliqué à la population communale*	Population des 35 ans et plus par commune (recensement de la population Insee 2015)
		CépiDc	Décès pour cause initiale « Tumeur de la trachée »	<i>Taux annuel de décès moyenné sur 2015-2017 corrigé par le taux de survie (20 %) appliqué à la population communale**</i>	
Bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO)	40 ans et plus	PMSI (CIM-10 : J43-J44) + DCIR (ATC R03)°	Première hospitalisation pour BPCO et/ou ayant eu une première mise sous traitement d'anticholinergiques inhalés de longue durée d'action (≥ 3 délivrances dans l'année) avec absence d'antécédents dans les cinq années précédentes	Nombre de cas annuels moyenné sur 2016-2019, agrégé au niveau communal	Population des 40 ans et plus par commune (recensement de la population Insee 2015)
Asthme chez l'enfant	0-17 ans	DCIR (code ATC R03)°	Première mise sous traitement pour syndrome obstructif des voies aériennes (≥ 3 délivrances dans l'année) avec absence d'antécédents dans les trois années précédentes	Nombre de cas annuels moyenné sur 2016-2019, agrégé au niveau communal	Population des 0-17 ans par commune (recensement de la population Insee 2015)
Asthme de l'adulte	18-39 ans	DCIR (code ATC 03)°	Première mise sous traitement pour syndrome obstructif des voies aériennes (≥ 3 délivrances dans l'année) avec absence d'antécédents dans les cinq années précédentes	Nombre de cas annuels moyenné sur 2016-2019, agrégé au niveau communal	Population des 19 ans et plus par commune (recensement de la population Insee 2015)

Indicateur de santé (incidence)	Classe d'âge	Source de données	Définition de cas	Agrégation	Population à risque
Pneumopathies et autres infections aiguës des voies resp. inférieures (grippe exclue) (ALRI)	0 – 12 ans	PMSI (CIM-10 : J12–J18, J20 – J22)	Tout événement d'hospitalisation pour ALRI [£]	Nombre de cas annuels moyenné sur 2016-2019, agrégé au niveau communal	Population des 0-12 ans par commune (recensement de la population Insee 2015)
Pathologies cardiovasculaires					
Accident vasculaire cérébral (AVC)	35 ans et plus	PMSI (CIM-10: I60- I64)	Première hospitalisation pour AVC avec absence d'antécédents dans les dix années précédentes	Nombre de cas annuels moyenné sur 2016-2019, agrégé au niveau communal avec correspondance entre codes Insee et codes géographiques PMSI*	Population des 35 ans et plus par commune (recensement de la population Insee 2015)
				<i>Nombre de cas annuels moyenné sur 2016-2019, agrégé au niveau communal avec tous les codes Insee^{†**}</i>	
Infarctus aigu du myocarde (IAM)	30 ans et plus	PMSI (CIM-10: I21 – I22)	Première hospitalisation pour IAM avec absence d'antécédents dans les dix années précédentes	Nombre de cas annuels moyenné sur 2016-2019, agrégé au niveau communal avec correspondance entre codes Insee et codes géographiques PMSI*	Population des 35 ans et plus par commune (recensement de la population Insee 2015)
Hypertension artérielle (HTA)	18 ans et plus	DCIR (codes ATC C02-C03, C07-C09) [°]	Première mise sous traitement pour hypertension (≥ 3 délivrances dans l'année) avec absence d'antécédents dans l'année précédente	Nombre de cas annuels moyenné sur 2016-2019, agrégé au niveau communal	Population des 18 ans et plus par commune (recensement de la population Insee 2015)
Pathologies métaboliques					
Diabète de type 2	45 ans et plus	DCIR (codes ATC A10) [°]	Première mise sous traitement pour diabète de type 2 (≥ 3 délivrances dans l'année) avec absence d'antécédents dans les deux années précédentes	Nombre de cas annuels moyenné sur 2016-2019, agrégé au niveau communal	Population des 45 ans et plus par commune (recensement de la population Insee 2015)

[°] Liste exhaustive et exclusions en Annexe 2

* En analyse principale

** En analyse de sensibilité

[†] sont pris en compte l'ensemble des codes Insee, que l'on retrouve une correspondance avec un code géographique PMSI ou pas.

[£] Tous les événements ALRI sont considérés des cas incidents compte tenu de la nature aiguë et de l'absence attendue d'infection avant le diagnostic et/ou entre des infections répétées chez le même individu (source HEI, 2022).

2.2.1.6. Données de population

Dans la mesure où le référentiel géographique des communes du COG 2018 est le référentiel sur lequel a été fourni l'ensemble des indicateurs d'exposition, et celui qui a été retenu pour l'ensemble des calculs, analyses et cartographies de cette étude, il était nécessaire de se référer aux données du recensement disponibles sur le référentiel des communes de 2018, à savoir le recensement 2015. La variation de la population totale de la France entre 2015 et 2016 étant faible (0,25%), les dénominateurs de population des indicateurs de santé ont été calculés sur la population 2015.

2.2.1.7. Méthode de calcul de l'impact sur la morbidité

Le logiciel AirQ+ 2.2.4. développé par l'OMS a été utilisé pour calculer les effets sur la santé d'une exposition à long terme à la pollution. Les calculs ont été vérifiés en utilisant le logiciel R²⁰.

Comme indiqué précédemment, la forme de la relation polluant-morbidité aux concentrations observées en Europe est log-linéaire. Dans ce cas, **la baisse du nombre de cas Δy associée à une baisse du niveau de pollution Δx** a été calculé à partir de l'équation :

$$\Delta y = y_0 (1 - e^{-\beta \Delta x}) \quad (1)$$

Où y_0 est le nombre de cas observé dans la population au niveau actuel de pollution x_{obs} . β est la pente de la relation polluant-logarithme de la morbidité. Pour un risque relatif (RR) exprimé pour une augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de polluant, $\beta = \ln(\text{RR})/10$ et Δx représente la baisse du niveau de la pollution dont on veut estimer l'impact.

Quand on s'intéresse à un scénario utilisant une valeur cible x_{cible} :

$$\Delta x = x_{obs} - x_{cible} \text{ si } x_{obs} > x_{cible}$$

$\Delta x = 0$ si $x_{obs} \leq x_{cible}$: la concentration estimée étant déjà en dessous de la valeur cible, il n'y a pas de bénéfice sanitaire à atteindre la valeur cible.

Δy représente l'écart entre le nombre de cas identifié aujourd'hui y_{obs} , et le nombre de cas attendu au niveau de pollution du scénario y_{sce} .

L'intervalle de confiance, à 95 % de Δy se calcule en utilisant les bornes hautes et basses de l'intervalle de confiance du β .

Le calcul a été réalisé pour chaque commune puis les résultats ont été agrégés pour obtenir des estimations régionales et nationales.

Lorsqu'aucun cas n'a été identifié dans une commune pendant la période d'étude, ou lorsque les concentrations estimées dans la commune étaient inférieures à la concentration hypothétique du scénario, le résultat de l'EQIS était nul dans cette commune.

2.2.1.8. Analyses de sensibilité

Des analyses de sensibilité ont été réalisées pour la construction de certains indicateurs d'incidence, en utilisant différentes méthodes d'estimation afin de juger d'un potentiel écart dans les résultats de l'EQIS-PA.

²⁰ R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.r-project.org/>.

- Estimation de l'incidence du cancer du poumon : en plus de l'utilisation des estimations départementales (analyse principale Tableau 4), nous avons également utilisé les données de mortalité du CépiDC, corrigées par le taux de survie national.

- Influence de l'attribution d'une commune de résidence pour les indicateurs utilisant des données d'hospitalisation : ceci a été réalisé pour l'estimation de l'incidence d'AVC. Dans l'analyse principale, seuls les patients des communes dont le code PMSI et le code de la commune concordent ont été inclus ; une analyse de sensibilité a été réalisée en incluant tous les patients quelles que soient les communes Insee identifiées dans le but d'analyser l'erreur potentielle de classification de l'exposition.

- Estimation de l'incidence du diabète de type 2 : en analyse principale, pour cibler la population atteinte de ce type de diabète en France, l'incidence a été calculée pour les personnes de 45 ans et plus. Une analyse de sensibilité a été réalisée en utilisant la classe d'âge recommandée par EMAPEC (30 ans et plus).

- Prise en compte des faibles effectifs : il existe des incertitudes lors de l'estimation de l'impact dans des petites communes, avec des variations potentiellement importantes attribuables à des fluctuations aléatoires. Une analyse de sensibilité a donc été réalisée sur la région Île-de-France pour tester la robustesse des résultats, malgré les fluctuations dues aux faibles effectifs observés dans les petites communes.

2.3. Résultats

2.3.1. Analyses descriptives

2.3.1.1. Zone d'étude et données de population

L'étude a porté sur les 35 228 communes de la France hexagonale issues du référentiel géographique conforme au COG 2018, parmi lesquelles :

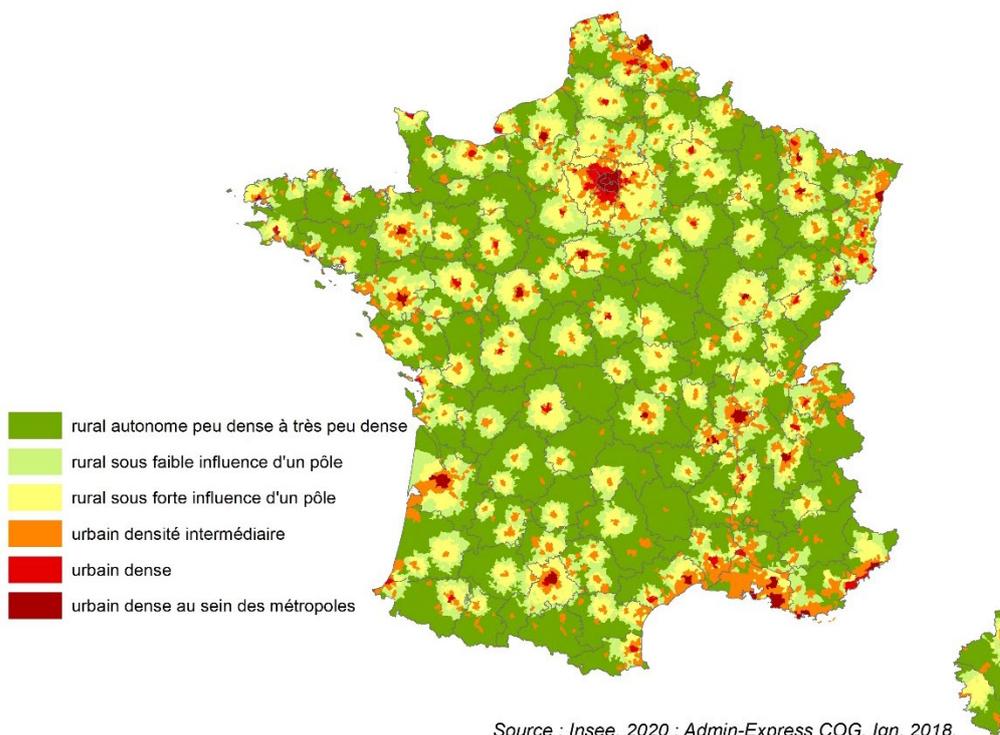
- 4 156 communes urbaines,
- 14 687 communes rurales plus ou moins influencées par un pôle d'activité,
- 16 385 communes rurales autonomes peu ou très peu peuplées (Tableau 5 et Figure 4).

En 2015, année du recensement utilisée pour l'étude, la France hexagonale totalisait plus de 64 millions d'habitants, dont 66,5% en classes de densité urbaines et 33,5% en classes de densité rurales (Tableau 5).

Tableau 5 – Effectifs de population pour les différentes classes de densité étudiées, 2015 (Santé publique France)

Classes de densité	Tous âges
Rural autonome peu dense à très peu dense	9 065 159
Rural sous faible influence d'un pôle	5 846 533
Rural sous forte influence d'un pôle	6 626 077
Urbain densité intermédiaire	18 063 602
Urbain dense	8 432 931
Urbain dense au sein d'une métropole	16 266 519
France hexagonale	64 300 821

Figure 4 – Représentation des communes de la France hexagonale selon les différentes classes de densité, 2018 (Santé publique France)



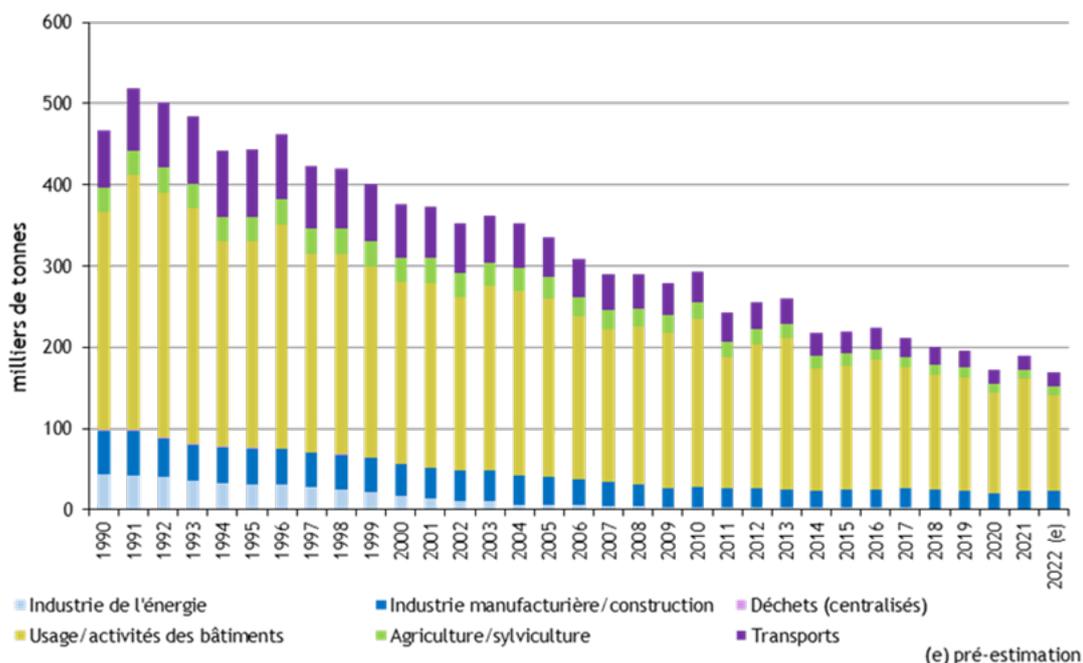
2.3.1.2. Évolution des émissions en France hexagonale

Les modèles de calcul des estimations des indicateurs d'exposition à la pollution de l'air s'appuyant en partie sur les données d'émissions, il nous a semblé utile de présenter, avec la contribution du Citepa, l'évolution des données d'émissions en France hexagonale, même si ces données n'ont pas été directement utilisées pour les calculs de l'EQIS-PA.

- $PM_{2,5}$

La Figure 5 présente l'évolution des émissions de $PM_{2,5}$ entre 1990 et 2022, en France hexagonale.

Figure 5 – Évolution des émissions de $PM_{2,5}$ entre 1990 et 2022, en France hexagonale (Citepa)



Depuis 1990, les émissions totales ont été réduites de plus de 60 %. Les émissions sont induites par tous les secteurs potentiellement émetteurs mais certains secteurs ont une contribution exceptionnellement importante. Notamment :

- le résidentiel/tertiaire avec 73 % des émissions totales en 2021, dont la principale composante émettrice est la combustion de la biomasse dans le secteur domestique ;
- l'industrie manufacturière avec 11 % des émissions totales en 2021, dont les principales sources sont les chantiers de construction/BTP, la sidérurgie et l'exploitation des carrières ;
- le transport avec 9 % des émissions totales en 2021, avec les émissions à l'échappement dues aux combustibles consommés (diesel et essence principalement) et à l'usure des routes, des pneus et des freins (et des caténaires pour le transport ferroviaire).

Cette répartition a relativement peu évolué depuis 1990, si ce n'est pour le secteur de l'industrie de l'énergie qui a fortement diminué sa contribution à la suite de l'arrêt de l'exploitation des mines et la mise en place de technologie de réduction sur certaines installations, sinon le secteur résidentiel/tertiaire est toujours le secteur le plus émetteur de PM_{2,5}.

Sur la période étudiée, une baisse plus ou moins importante des émissions est observée dans tous les secteurs. Cette baisse a plusieurs origines, dont l'amélioration des performances des techniques de dépoussiérage dans de nombreux secteurs de l'industrie manufacturière (sidérurgie, verrerie, cimenterie...), l'amélioration des technologies de combustion pour la combustion de la biomasse (impact dans le secteur résidentiel/tertiaire), la mise en place de normes pour les sources mobiles routières ou non routières (Euro) et des valeurs limites d'émissions pour les installations de combustion et les procédés industriels, etc.

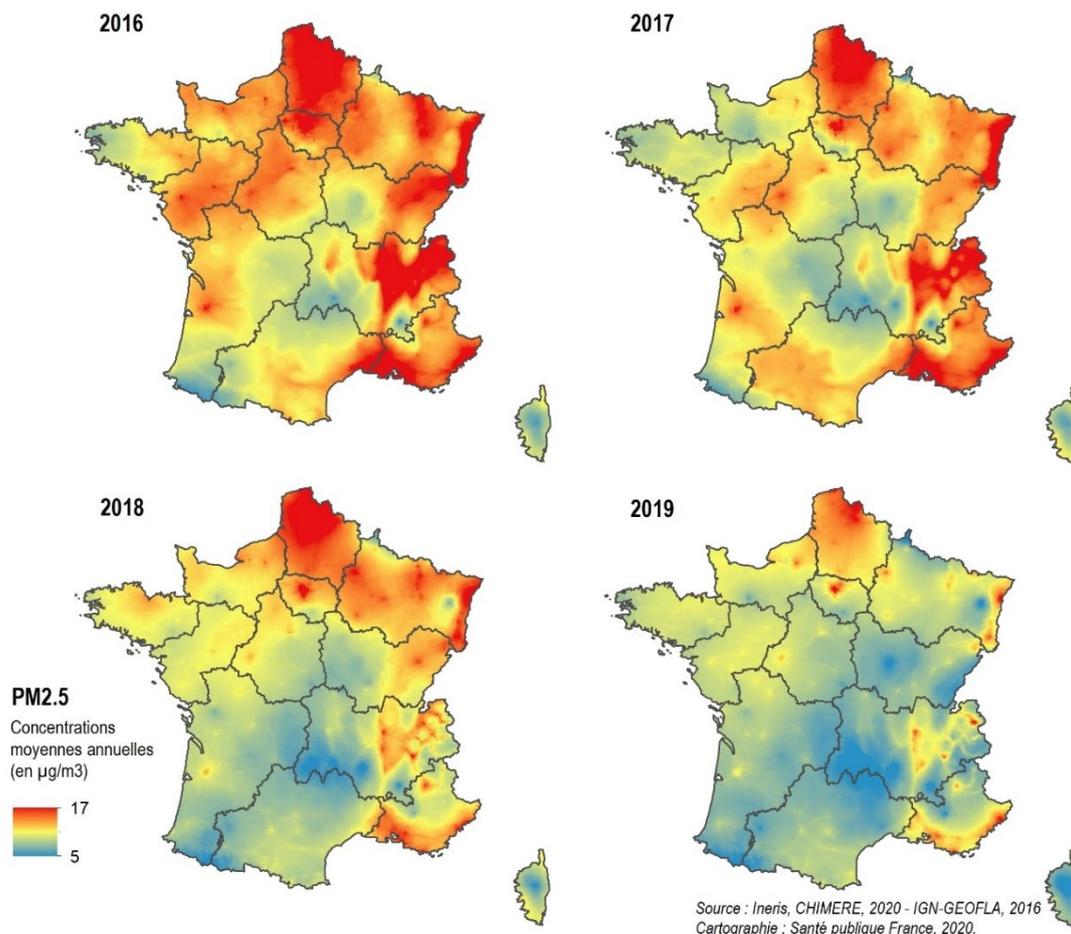
Parmi les combustibles, la consommation de biomasse, essentiellement dans le secteur résidentiel, est le principal contributeur aux émissions de PM_{2,5}, représentant environ 63% des émissions liées à la combustion de combustibles en 1990 et 88% en 2021. Il est important de noter que, pour autant, les émissions de la combustion de bois ont diminué de 50% entre 1990 et 2021, notamment grâce au renouvellement des équipements de chauffage individuel par des équipements plus performants et moins émetteurs. Cette contribution croissante du bois semble être en partie due à l'intérêt récent porté à ce combustible en termes d'émissions de gaz à effet de serre en vue de le substituer à d'autres combustibles comme le fioul domestique dans le chauffage résidentiel. De plus, l'abandon progressif des combustibles solides fossiles explique aussi la réduction globale observée des émissions de la combustion ainsi que la part croissante du bois (-97% pour les émissions liées aux combustibles minéraux solides depuis 1990). Enfin, les combustibles liquides ont grandement contribué à réduire les émissions des combustibles avec principalement le fioul domestique et le gazole qui ont atteint des abattements respectifs de -97% et -83% grâce notamment aux normes introduites pour les véhicules passagers et les engins mobiles non routiers. Pour le gazole, la mise en place de filtres à particules à partir de 2011 a également favorisé la baisse des émissions.

Le 23 juillet 2021, le MTECT a publié un plan d'actions sur le chauffage au bois qui vise à atteindre entre 2020 et 2030, d'une part, une baisse de plus de 30% des émissions annuelles de PM_{2,5} issues du chauffage au bois à l'échelle nationale et, d'autre part, une baisse de 50% des émissions dans les territoires les plus pollués (dans les zones couvertes par un PPA [Plans de protection de l'atmosphère]), en favorisant l'utilisation des équipements performants et de combustible de bonne qualité.

Sur la période d'étude 2016-2019, cette baisse des émissions se reflète sur l'évolution des concentrations moyennes annuelles de PM_{2,5}.

La Figure 6 présente les concentrations annuelles pondérées par la population à la commune.

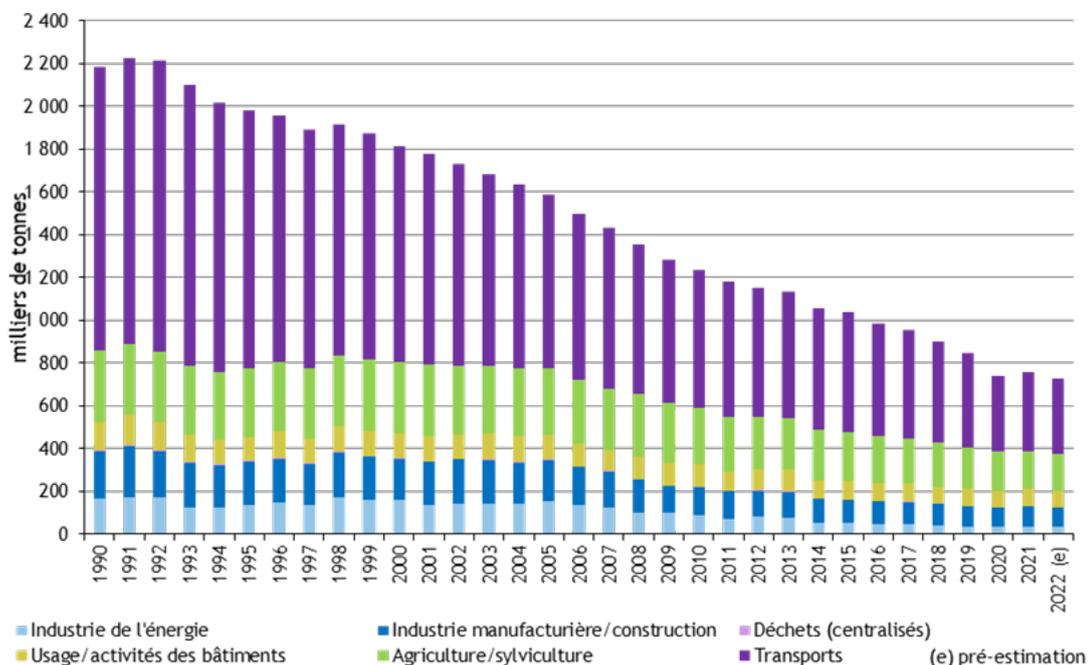
Figure 6 – Évolution des concentrations moyennes annuelles de PM_{2,5} entre 2016 et 2019, en France hexagonale (données Ineris, 2022)



- **NO_x**

La figure suivante, présente l'évolution des émissions de NO_x entre 1990 et 2022 en France hexagonale.

Figure 7 – Évolution des émissions de NO_x entre 1990 et 2022, en France hexagonale (Citepa)



Depuis 1990, les émissions totales de NOx ont été réduites de plus de 65%. Les émissions sont induites par tous les secteurs potentiellement émetteurs mais certains secteurs ont une contribution plus importante. Les secteurs les plus émetteurs en 2021 sont :

- Le transport représentant 49% des émissions totales en 2021, avec les émissions à l'échappement dues aux combustibles consommés (gazole et essence principalement). Les émissions du transport ont diminué de 72% entre 1990 et 2021.
- L'agriculture avec 21% des émissions totales en 2021. Les émissions de l'agriculture ont diminué de 46% entre 1990 et 2021.
- L'industrie manufacturière avec 13% des émissions totales en 2021. Les principales sources sont la production de minéraux non métalliques (34% des émissions du secteur), la chimie (18% des émissions du secteur) et un ensemble d'autres secteurs à la contribution similaire (entre 10 et 12% du secteur) tels que la construction, l'agro-alimentaire, les métaux ferreux. Les émissions de l'industrie ont diminué de 58% entre 1990 et 2021.

Les émissions liées au transport ont diminué à la suite de l'introduction pour le transport routier notamment, des normes « Euro ». Les premières normes Euro ont été introduites dans les années 1990. Dernièrement les normes ont été sévériées pour mieux prendre en compte les conditions de circulation réelles lors de l'établissement des standards. La baisse des rejets de NOx du transport routier n'a pas suivi la baisse des valeurs limites d'émissions (VLE) des normes. Il y a même eu pour les véhicules diesel de norme Euro 5 une hausse du facteur d'émission par rapport à celui des véhicules de normes Euro 4. Les facteurs d'émission des normes Euro 6 sont plus faibles que ceux des normes précédentes. Cette sévérité accrue sur la norme a favorisé le déploiement des systèmes SCR ou piège à NOx qui équipent les motorisations diesel aujourd'hui. Néanmoins, jusqu'au premier septembre 2017, les émissions en conditions réelles étaient relativement éloignées des valeurs limites d'émissions (VLE) des normes à cause d'un cycle d'homologation NEDC (New European Driving Cycle) peu représentatif des conditions réelles de circulation. À partir de cette date, la nouvelle procédure d'homologation WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures) qui, associée à la mise en place de facteurs de conformité imposant un seuil maximal d'émission en conditions réelles de conduite (RDE - Real Driving Émissions) de respectivement 2,1 et 1,43 fois la norme pour les réglementations Euro 6c et 6d, a permis, avec le renouvellement du parc, de considérablement réduire les émissions de NOx des véhicules. La dé-diésélisation du parc depuis 2015 a aussi aidé à la baisse des émissions de NOx.

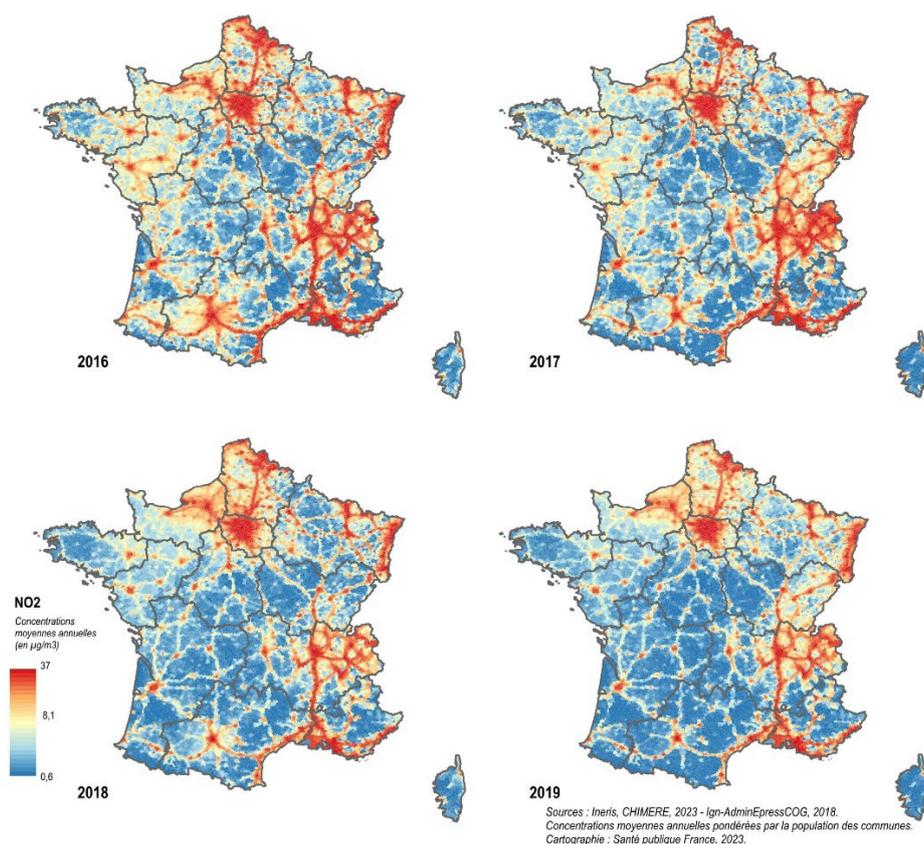
Les émissions de l'industrie ont diminué en lien avec la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et depuis 2010, la Directive européenne 2010/75/EU Émissions Industrielles qui impose que les valeurs limites d'émissions prescrites aux installations soient basées sur l'usage des meilleures techniques disponibles. L'impact de la désindustrialisation est également à considérer dans cette baisse des émissions.

Dans l'agriculture/sylviculture, les émissions de NOx sont générées par les cultures (78% des émissions du secteur), par les moteurs des engins variés utilisés (machines agricoles, tracteurs...) (17% des émissions du secteur) et par l'élevage (5% des émissions du secteur). La diminution des émissions de NOx depuis 1990 (- 47%) est surtout à mettre en lien avec le renouvellement du parc de tracteurs (- 79% d'émissions sur la période 1990-2021). Les émissions de NOx liées aux cultures sont dues aux processus de nitrification qui y ont lieu après des apports d'azote. Elles ont baissé de 37% par rapport à 1990, baisse s'expliquant principalement par une baisse de l'azote minéral apporté. Les émissions de l'élevage ont diminué de 21% par rapport à 1990. Une faible part des émissions de NOx provient du brûlage de résidus agricoles. Le brûlage de résidus agricoles est une pratique interdite en France, sauf dans le cas de dérogations préfectorales pour des raisons sanitaires. Les émissions de ce poste ont diminué de 62% entre 1990 et 2021.

Sur la période d'étude, 2016-2019, cette baisse des émissions se reflète également sur l'évolution des concentrations moyennes annuelles de NO₂.

La Figure 8 présente les concentrations annuelles pondérées par la population à la commune.

Figure 8 – Évolution des concentrations moyennes annuelles de NO₂ entre 2016 et 2019, en France hexagonale (données Ineris, 2022)



2.3.1.3. Données d'exposition à la pollution dans l'air ambiant

Pour la période du 1^{er} janvier 2016 au 31 décembre 2019, selon les classes de densité des communes, les concentrations d'exposition moyennes annuelles de PM_{2,5} étaient comprises entre 9,2 µg/m³ et 11,6 µg/m³ (Tableau 6 et Figure 9). Pour le NO₂ ces valeurs étaient comprises entre 7 µg/m³ et 22,7 µg/m³. Le gradient intra-classe de densité était plus marqué pour le NO₂ comme le montre l'écart interquartile (Tableau 6 et Figure 10).

Les concentrations moyennes étaient plus faibles dans les classes de densité rurales que dans celles plus urbanisées, avec un gradient bien moins marqué pour les PM_{2,5} que pour le NO₂. Ce gradient urbain/rural des concentrations est habituel et cohérent avec la répartition des sources d'émission de ces deux types de polluants.

La VG OMS pour les PM_{2,5} de 5 µg/m³ était dépassée dans toutes les communes et les concentrations étaient inférieures à la cible intermédiaire 4 (IT 4) de l'OMS de 10 µg/m³ dans 24 585 communes (soit 69,8%). Pour le NO₂, dans les communes des zones urbaines, les concentrations étaient inférieures à la VG de 10 µg/m³ dans seulement 586 communes urbaines (soit 14,1% de la totalité des communes urbaines). En revanche, dans 3 693 communes urbaines (soit 88,9% d'entre elles) les concentrations moyennes en NO₂ étaient déjà inférieures à la cible intermédiaire 3 (IT 3) de l'OMS de 20 µg/m³.

Ainsi, sur la période étudiée, la baisse moyenne annuelle nécessaire pour respecter la VG OMS pour les PM_{2,5} dans les communes de la France hexagonale serait de 4,6 µg/m³ (soit 47,2%) et elle serait de 0,3 µg/m³ (soit 2,4%) pour la cible intermédiaire 4. Pour le NO₂, la baisse pour respecter la VG OMS de 10 µg/m³ sur l'ensemble des zones urbaines serait en moyenne de 4,9 µg/m³ (soit 27,5%), et de 0,5 µg/m³ (soit 1,8%) pour respecter la cible intermédiaire 3 de l'OMS de 20 µg/m³. Ces chiffres seraient plus élevés en zones urbaines denses au sein d'une métropole (Tableau 8).

Tableau 6 – Niveaux moyens annuels d'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) aux $\text{PM}_{2,5}$ et de NO_2 estimés en France hexagonale entre 2016 et 2019

	Classes de densité	Moyenne pondérée [min ; max]	Médiane (P50)	Ecart interquartile (P75-P25)	P5	P95	Baisse moyenne nécessaire pour respecter	
							VG OMS* $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (%)	IT OMS** $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (%)
PM_{2,5} (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Rural autonome peu dense à très peu dense	9,2 [6,6 ; 13,1]	9,2	1,2 [9,7 ; 8,5]	7,8	11,1	4,2 (45,2 %)	0,1 (1,1 %)
	Rural sous faible influence d'un pôle	9,7 [7,1 ; 13,0]	9,6	1,4 [10,4 ; 9,0]	8,2	11,6	4,7 (48,1)	0,3 (2,7)
	Rural sous forte influence d'un pôle	9,8 [7,2 ; 13,5]	9,7	1,3 [10,4 ; 9,1]	8,2	11,5	4,8 (48,2)	0,3 (2,6)
	Urbain densité intermédiaire	10,3 [7,1 ; 13,8]	10,2	1,7 [11,1 ; 9,4]	8,6	12,6	5,3 (51,0)	0,7 (5,7)
	Urbain dense	10,9 [7,8 ; 13,3]	10,9	1,2 [11,5 ; 10,3]	9,3	12,9	5,9 (53,7)	1,0 (8,6)
	Urbain dense au sein d'une métropole	11,6 [8,1 ; 14,4]	11,6	1,7 [12,4 ; 10,6]	9,3	13,8	6,6 (56,2)	1,6 (13,1)
	France hexagonale	9,6 [6,6 ; 14,4]	9,5	1,4 [10,2 ; 8,9]	8,0	11,6	4,6 (47,2)	0,3 (2,4)
NO₂ (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Rural autonome peu dense à très peu dense	7,0 [1,7 ; 22,0]	6,7	2,4 [8,1 ; 5,6]	4,2	11,0	0,2 (1,2)	0,0 (0,0)
	Rural sous faible influence d'un pôle	8,4 [2,1 ; 23,1]	7,9	3,1 [9,7 ; 6,6]	5,0	13,8	0,5 (3,8)	0,0 (0,0)
	Rural sous forte influence d'un pôle	9,2 [2,4 ; 31,8]	8,7	3,4 [10,6 ; 7,2]	5,5	14,4	0,8 (5,4)	0,0 (0,0)
	Urbain densité intermédiaire	13,3 [5,6 ; 28,0]	13,2	4,8 [15,6 ; 10,8]	8,5	18,8	3,5 (22,6)	0,0 (0,2)
	Urbain dense	19,1 [10,1 ; 30,5]	19,0	5,0 [21,7 ; 16,6]	13,1	25,0	9,1 (45,6)	1,1 (4,6)
	Urbain dense au sein d'une métropole	22,7 [11,2 ; 35,2]	22,2	9,1 [26,9 ; 17,8]	14,3	33,0	12,7 (52,8)	3,9 (13,6)
	Ensemble urbain	14,7 [5,6 ; 35,2]	14,0	5,8 [17,1 ; 11,3]	8,7	23,7	4,9 (27,5)	0,5 (1,8)
France hexagonale	8,7 [1,7;35,2]	7,7	3,8 [10,1 ; 6,3]	4,6	15,9	0,9 (5,7)	0,1 (0,2)	

*valeur guide annuelle de l'OMS 2021 (inférieure à $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les $\text{PM}_{2,5}$ et à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le NO_2)

**cible intermédiaire (IT) annuelle n° 4 de l'OMS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle pour les $\text{PM}_{2,5}$) et l'IT annuelle n° 3 de l'OMS ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle pour le NO_2)

Figure 9 – Distribution communale des concentrations moyennes annuelles de PM_{2,5}, 2016-2019, (données Ineris, 2022)

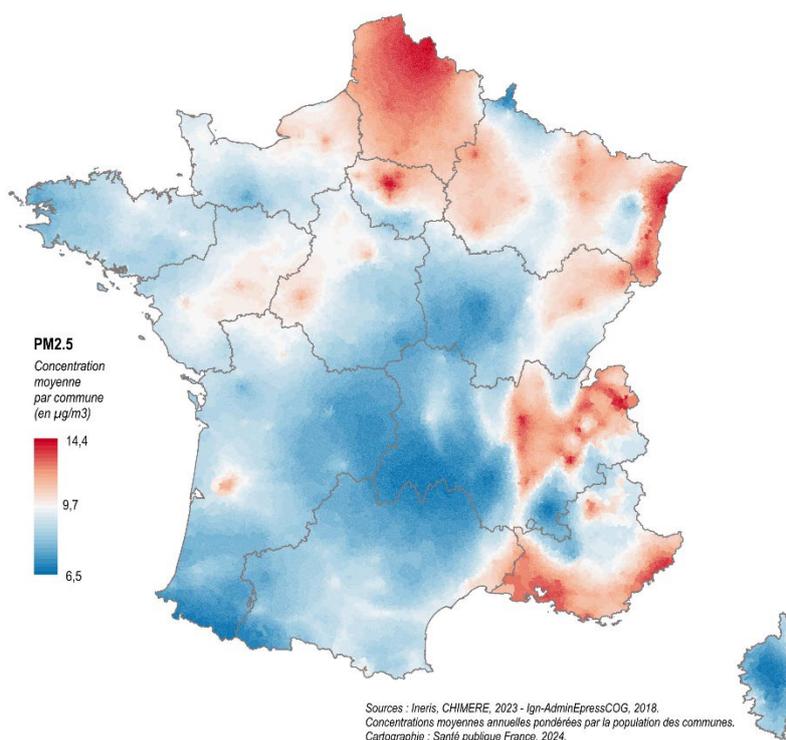
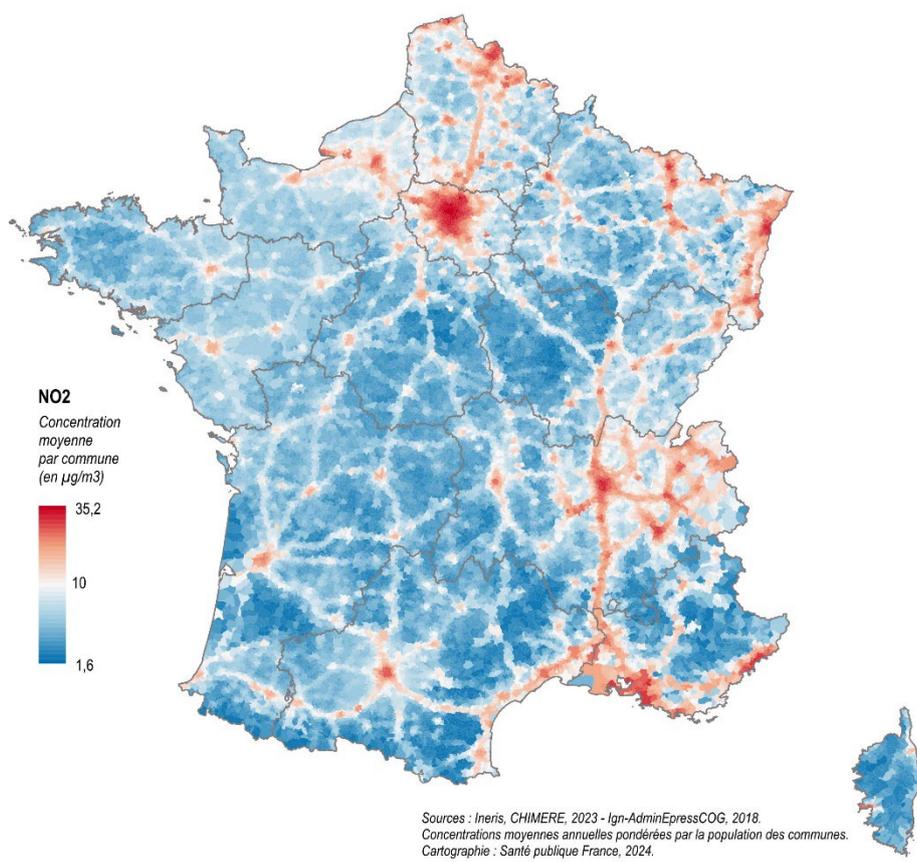


Figure 10 – Distribution des concentrations moyennes annuelles de NO₂, 2016-2019 (données Ineris, 2022)



2.3.1.4. Données de morbidité

Maladies respiratoires

- *Nombre de nouveaux cas de cancer du poumon*

Sur la période 2016-2019, le nombre moyen annuel de nouveaux cas de cancer du poumon chez les 35 ans et plus domiciliés en France hexagonale et estimé à partir des taux d'incidence départementaux était de 39 635 avec un taux moyen de presque 113 pour 100 000 habitants (Tableau 7).

Tableau 7 – Nouveaux cas de cancer du poumon chez les 35 ans et plus selon la classe de densité, période 2016-2019

Classe de densité	Population 35 ans et +	Nombre moyen annuel de nouveaux cas	Taux moyen annuel pour 100 000 hab. (P5-P95)
Rural autonome peu dense à très peu dense	5 837 508	6 401	113,8 (89,3 – 135,8)
Rural sous faible influence d'un pôle	3 530 057	3 862	113,4 (87,6 – 136,0)
Rural sous forte influence d'un pôle	3 951 001	4 319	112,9 (89,2 – 135,9)
Urbain densité intermédiaire	10 805 292	11 630	108,6 (86,6 – 129,5)
Urbain dense	4 553 811	4 440	100,4 (86,6 – 129,5)
Urbain dense au sein d'une métropole	8 497 625	8 782	103,7 (91,8 – 124,9)
France hexagonale	37 175 294	39 635	112,8 (88,4 – 135,4)

Source : Registre des cancers et SNDS, exploitation Santé publique France

- *Nombre de nouveaux cas d'asthme chez l'enfant*

Sur la période 2016-2019, le nombre moyen annuel de nouveaux cas d'asthme chez les 0-17 ans domiciliés en France hexagonale, et estimé à partir de la délivrance de médicaments antiasthmatiques, était de près de 202 000 (Tableau 8).

Tableau 8 – Nouveaux cas d'asthme chez les 0-17 ans estimés à partir des délivrances de médicaments* selon la classe de densité, 2016-2019

Classe de densité	Population 0-17 ans	Nombre moyen annuel de nouveaux cas	Taux moyen annuel pour 100 000 hab. (P5-P95)
Rural autonome peu dense à très peu dense	1 867 830	22 947	1 212,0 (0 – 3 030,3)
Rural sous faible influence d'un pôle	1 364 886	17 606	1 264,8 (0 – 2689,6)
Rural sous forte influence d'un pôle	1 594 882	23 125	1 407,6 (0 – 2 893,3)
Urbain densité intermédiaire	3 921 513	57 578	1 419,3 (677,0 – 2 394,1)
Urbain dense	1 904 193	27 016	1 396,8 (954,9 – 1 906,8)
Urbain dense au sein d'une métropole	3 407 120	53 721	1 603,8 (1 092,2 – 2 2537,9)
France hexagonale	14 060 424	201 992	1 289,4 (0 – 2 838,9)

* Première mise sous traitement pour syndrome obstructif des voies aériennes (≥ 3 délivrances dans l'année) (extrait à partir de la classe ATC R03) avec absence d'antécédents dans les trois années précédentes

Sources : DCIR/SNDS, exploitation Santé publique France

- *Nombre de nouveaux cas d'asthme chez l'adulte*

Sur la période 2016-2019, le nombre moyen annuel de nouveaux cas d'asthme chez les 18-39 ans et plus domiciliés en France hexagonale, et estimé à partir de la délivrance de médicaments antiasthmiques, est de plus de 92 000. (Tableau 9).

Tableau 9 – Nouveaux cas d'asthme chez les adultes de 18-39 ans estimés à partir des délivrances de médicaments* selon la classe de densité, 2016-2019

Classe de densité	Population 18-39 ans	Nombre moyen annuel de nouveaux cas	Taux moyen annuel pour 100 000 hab. (P5-P95)
Rural autonome peu dense à très peu dense	1 863 943	10 522	728,8 (0 – 1 856,8)
Rural sous faible influence d'un pôle	1 325 733	7 245	611,7 (0 – 1 397,8)
Rural sous forte influence d'un pôle	1 515 017	8 556	580,2 (0 – 1 367,1)
Urbain densité intermédiaire	4 387 084	25 558	576,8 (239,0 - 944,3)
Urbain dense	2 501 937	13 145	531,4 (328,0 - 763,8)
Urbain dense au sein d'une métropole	5 459 476	27 298	539,7 (372,2 - 767,4)
France hexagonale	17 053 191	92 323	654,7 (0 – 1 523,4)

* Première mise sous traitement pour syndrome obstructif des voies aériennes (≥ 3 délivrances dans l'année) (extrait à partir de la classe ATC R03) avec absence d'antécédents dans les cinq années précédentes.

Sources : DCIR/SNDS, exploitation Santé publique France.

- *Nombre de nouveaux cas de BPCO*

Sur la période 2016-2019, le nombre moyen annuel de nouveaux cas de BPCO chez les 40 ans et plus domiciliés en France hexagonale, estimé à partir des données du SNDS, par recoupement des données de remboursements de médicaments de l'assurance maladie et des données d'hospitalisation, était de près de 194 500 (Tableau 10).

Tableau 10 – Nouveaux cas de BPCO chez les 40 ans et plus estimés à partir des délivrances de médicaments* et des données d'hospitalisation* selon la classe de densité, 2016-2019

Classe de densité	Population 40 ans et plus	Nombre moyen annuel de nouveaux cas	Taux moyen annuel pour 100 000 hab. (P5-P95)
Rural autonome peu dense à très peu dense	5 333 386	33 858	642,9 (0 – 1 377,9)
Rural sous faible influence d'un pôle	3 155 915	18 122	584,6 (0 – 1 215,6)
Rural sous forte influence d'un pôle	3 516 177	17 972	525,9 (0 – 1 047,0)
Urbain densité intermédiaire	9 755 006	60 946	566,6 (252,1 - 964,7)
Urbain dense	4 026 800	22 278	521,2 (296,3 - 894,6)
Urbain dense au sein d'une métropole	7 399 923	41 316	532,9 (334,3 - 797,4)
France hexagonale	33 187 207	194 491	596,7 (0 – 1 238,5)

*Première hospitalisation pour BPCO ou ayant eu une première mise sous traitement d'anticholinergiques inhalés de longue durée d'action (≥ 3 délivrances dans l'année) (codes CIM-10 : J43 – J44/ classe ATC R03) avec absence d'antécédents dans les cinq années précédentes.

Sources : PMSI-DCIR/SNDS, exploitation Santé publique France.

- *Nombre de nouveaux cas de pneumopathie et autres infections aiguës des voies inférieures (ALRI)*

Sur la période 2016-2019, le nombre moyen annuel de nouveaux cas d'ALRI chez les 0-12 ans domiciliés en France hexagonale, estimé à partir des hospitalisations, était de 57 526 (Tableau 11).

Tableau 11 – Nouveaux cas d'ALRI* chez les 0-12 ans estimés à partir des hospitalisations selon la classe de densité, 2016-2019

Classe de densité	Population 0-12 ans	Nombre moyen annuel de nouveaux cas	Taux moyen annuel pour 100 000 hab. (P5-P95)
Rural autonome peu dense à très peu dense	1 324 217	5 917	444,6 (0 – 1 744,3)
Rural sous faible influence d'un pôle	984 037	4 309	439,3 (0 – 1 432,6)
Rural sous forte influence d'un pôle	1 143 472	5 034	436,9 (0 – 1 326,1)
Urbain densité intermédiaire	2 772 569	16 472	507,4 (76,7 – 1 033,0)
Urbain dense	1 388 231	9 655	624,6 (240,3 – 1 027,9)
Urbain dense au sein d'une métropole	2 515 547	16 139	635,3 (312,0 – 1 007,5)
France hexagonale	10 128 073	57 526	452,0 (0 – 1 470,6)

*Tous les événements ALRI (codes CIM-10 (CIM-10 : J12 – J18, J20 – J22) sont considérés des cas incidents compte tenu de la nature aiguë et de l'absence attendue d'infection avant le diagnostic et/ou entre des infections répétées chez le même individu (source HEI, 2022).

Sources : PMSI/SNDS, exploitation Santé publique France.

Maladies cardiovasculaires

- *Nombre de nouveaux cas d'accident vasculaire cérébral*

Sur la période 2016-2019, le nombre moyen annuel de nouveaux cas d'AVC chez les personnes de 35 ans et plus, domiciliées en France hexagonale, estimé à partir des hospitalisations, était de près de 97 000 (Tableau 12).

Tableau 12 – Nouveaux cas d'AVC* chez les 35 ans et plus selon la classe de densité, 2016-2019

Classe de densité	Population 35 ans et plus	Nombre moyen annuel de nouveaux cas	Taux moyen annuel pour 100 000 hab. (P5-P95)
Rural autonome peu dense à très peu dense	5 837 508	16 094	258,8 (0-671,4)
Rural sous faible influence d'un pôle	3 530 057	8 843	241,6 (0 – 585,0)
Rural sous forte influence d'un pôle	3 951 001	8 670	213,3 (0 – 493,1)
Urbain densité intermédiaire	10 805 292	28 790	240,8 (94,3 – 385,8)
Urbain dense	4 553 811	12 187	247,3 (141,5 – 365,5)
Urbain dense au sein d'une métropole	8 497 625	22 377	261,3 (183,0 – 323,5)
France hexagonale	37 175 294	96 961	244,0 (0 – 588,2)

*Un cas est considéré comme nouveau si aucun antécédent d'hospitalisation pour AVC (codes CIM-10 : I60-I64) n'a été enregistré dans les 10 années précédentes.

Sources : PMSI/SNDS, exploitation Santé publique France

- *Nombre de nouveaux cas d'infarctus aigu du myocarde (IAM)*

Sur la période 2016-2019, le nombre moyen annuel de nouveaux cas d'IAM chez les 30 ans et plus domiciliés en France hexagonale, estimé à partir des hospitalisations, était de plus de 95 500 (Tableau 13).

Tableau 13 – Nouveaux cas d'infarctus aigu du myocarde* chez les 30 et plus, estimés à partir des hospitalisations selon la classe de densité, 2016-2019

Classe de densité	Population 30 ans et plus	Nombre moyen annuel de nouveaux cas	Taux moyen annuel pour 100 000 hab. (P5-P95)
Rural autonome peu dense à très peu dense	6 310 568	16 790	260,0 (0 - 669,7)
Rural sous faible influence d'un pôle	3 877 617	9 145	230,1 (0 - 542,2)
Rural sous forte influence d'un pôle	4 346 719	9 137	208,8 (0 - 472,5)
Urbain densité intermédiaire	11 824 106	29 355	228,3 (96,8 - 373,1)
Urbain dense	5 109 933	11 074	206,4 (117,8 - 308,1)
Urbain dense au sein d'une métropole	9 697 768	20 039	217,6 (143,3 - 292,3)
France hexagonale	41 166 711	95 538	239,1 (0 - 573,8)

*Première hospitalisation pour IAM (codes CIM-10: I21 – I22) n'ayant jamais été hospitalisé pour IAM durant les dix années antérieures.
Sources : PMSI/SNDS, exploitation Santé publique France.

- *Nombre de nouveaux cas d'hypertension artérielle*

Sur la période 2016-2019, le nombre moyen annuel de nouveaux cas d'hypertension artérielle chez les 18 ans et plus domiciliés en France hexagonale, et estimé à partir de la délivrance de médicaments antihypertenseurs, était de plus de 712 000 (Tableau 14).

Tableau 14 – Nouveaux cas d'hypertension artérielle chez les 18 ans et plus estimés à partir des délivrances de médicaments* selon la classe de densité, 2016-2019

Classe de densité	Population 18 ans et plus	Nombre moyen annuel de nouveaux cas	Taux moyen annuel pour 100 000 hab. (P5-P95)
Rural autonome peu dense à très peu dense	7 197 329	117 920	1 942,8 (862,1– 3 664,4)
Rural sous faible influence d'un pôle	4 481 647	70 355	1 796,1 (910,5 – 3 250,5)
Rural sous forte influence d'un pôle	5 031 195	75 480	1 694,8 (919,4 – 2 976,2)
Urbain densité intermédiaire	14 142 089	208 365	1 503,3 (1 065,9– 2 032,8)
Urbain dense	6 528 738	86 685	1 373,5 (1 018,4– 1 825,6)
Urbain dense au sein d'une métropole	12 859 399	153 613	1 301,7 (965,1– 1 624,4)
France hexagonale	50 240 397	712 417	1 805,5 (912,9 – 3 280,1)

* Au moins 3 délivrances de médicaments spécifiques (codes ATC C02-03, C07-09) à différentes dates dans l'année n, et en cas de grands conditionnements, au moins 1 grand et 1 petit, ou 2 grands ; et strictement aucune délivrance l'année précédente.
Sources : DCIR/SNDS, exploitation Santé publique France.

Pathologies métaboliques

- *Nombre de nouveaux cas de diabète de type 2 chez l'adulte*

Sur la période 2016-2019, le nombre moyen annuel de nouveaux cas de diabète de type 2 chez les 45 ans et plus domiciliés en France hexagonale, et estimé à partir de la délivrance de médicaments, était d'environ 210 500 (Tableau 15).

Tableau 15 – Nouveaux cas de diabète de type 2 chez les 45 ans et plus estimés à partir des délivrances de médicaments* selon la classe de densité, 2016-2019

Classe de densité	Population 45 ans et plus	Nombre moyen annuel de nouveaux cas	Taux moyen annuel pour 100 000 hab. (P5-P95)
Rural autonome peu dense à très peu dense	4 742 318	32 071	675,0 (0 – 1 431,9)
Rural sous faible influence d'un pôle	2 730 844	18 369	690,2 (0 – 1 345,8)
Rural sous forte influence d'un pôle	3 011 106	19 225	652,7 (114,3 – 1 246,4)
Urbain densité intermédiaire	8 551 566	61 627	687,0 (369,3 – 1 038,6)
Urbain dense	3 481 698	27 872	776,1 (445,0 – 1 159,0)
Urbain dense au sein d'une métropole	6 328 203	51 416	777,2 (475,3 – 1 239,7)
France hexagonale	28 845 735	210 579	677,0 (0 – 1 335,4)

*Délivrance de médicaments pour diabète de type 2 (codes ATC A10) avec absence d'antécédents dans les deux années précédentes.

Sources : DCIR/SNDS, exploitation Santé publique France.

2.3.2. Résultats de l'EQIS-PA

Sont présentés ci-après les bénéfices attendus en termes de morbidité pour différentes réductions de niveaux de PM_{2,5} et NO₂ pour les analyses principales décrites dans le Tableau 2 (section Méthode).

NOTE : Les résultats de l'EQIS pour les différents polluants atmosphériques ne doivent pas être additionnés pour le même indicateur de santé, car les polluants atmosphériques choisis représentent tous le même mélange complexe de PA et leurs effets estimés sur la santé peuvent se recouper.

Les résultats des analyses de sensibilité sont présentés en Annexe 3.

Les résultats par région figurent en Annexe 4.

NOTE : dans le cadre du projet EMAPEC, d'autres EQIS-PA ont été réalisées spécifiquement pour la région Hauts-de-France et la Métropole du Grand-Paris. De plus, une EQIS-PA a été réalisée en Auvergne-Rhône-Alpes en 2021 par Santé publique France, et en Île-de-France par l'ORS Île-de-France en 2025. Elles ont utilisé des données d'exposition fournies par leur association agréée de surveillance de la qualité de l'air (AASQA). Ces données pouvant différer de celles utilisées ici fournies par l'Ineris, les résultats de ces EQIS peuvent également différer de ceux présentés dans l'Annexe 4. Le lecteur est invité à se référer spécifiquement à ces rapports.

Impact des PM_{2,5} au niveau respiratoire

2.3.2.1. PM_{2,5} – cancer du poumon

Dans le scénario « Poids total des PM_{2,5} » une réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} en France hexagonale jusqu'au seuil sans pollution anthropique de 3 µg/m³ permettrait d'éviter en moyenne²¹ 10,4% de tous les nouveaux cas de cancer du poumon pour une année donnée, ce qui correspond à 4 103 cas (IC95% : 2 688 ; 5 599).

Une réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} en France hexagonale **jusqu'à la valeur guide (VG) de l'OMS de 5 µg/m³**, soit une baisse moyenne de 4,6 µg/m³ (47,2%), permettrait d'éviter en moyenne 7,7% des nouveaux cas de cancers du poumon pour une année donnée, soit 3 032 cas (IC95% : 1 977 ; 4 160). Ce nombre de cas évités représente presque 74% des cas de cancer du poumon attribuables au poids total des PM_{2,5}.

Si la **valeur cible intermédiaire de l'OMS de 10 µg/m³** était respectée, soit une baisse moyenne de 0,3 µg/m³ (2,4%), en moyenne 1,2% des nouveaux cas de cancer du poumon observés serait évités pour une année donnée, ce qui correspond à 456 cas (IC95% : 295 ; 632). Ainsi, avec ce scénario, seulement 11% de ces cas de cancer du poumon attribuables au poids total des PM_{2,5} seraient évités.

Pour tous les scénarios, les pourcentages sont toujours plus élevés en zones urbaines (Tableau 16 et Figure 11).

Lorsque, en analyse de sensibilité, la méthode de calcul utilise le taux de mortalité par cancer du poumon à la commune, corrigé par le taux de survie national au lieu du taux d'incidence départementale, les résultats au niveau national sont quasiment identiques (Tableau 2 section 3.1. en Annexe 3).

²¹ Moyenne des valeurs communales

Tableau 16 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour le cancer du poumon (35 ans et plus) dans les différents scénarios, à partir des taux d'incidence départementaux, France hexagonale (2016-2019)

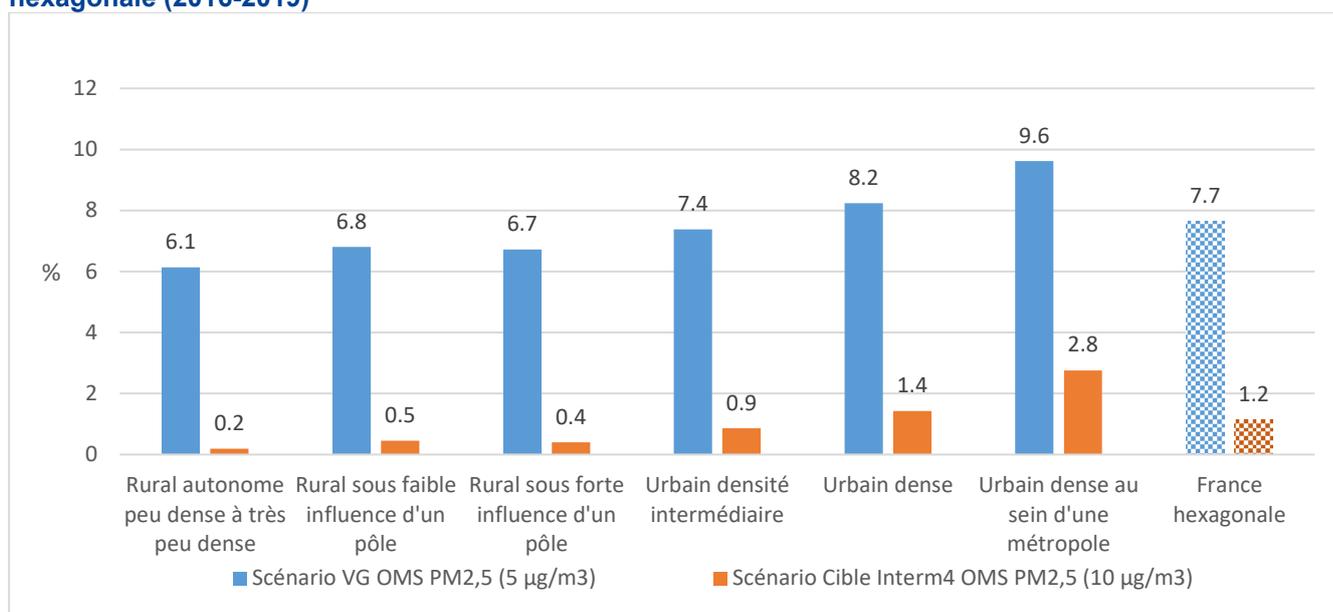
Classe de densité	Scénario Poids total des PM _{2,5} (3 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS PM _{2,5} (5 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS PM _{2,5} (10 µg/m ³)		
	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée*	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée**	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)
Rural autonome peu dense à très peu dense	569 (372 - 779)	8,9 (5,8 - 12,2)	393 (256 - 542)	6,1 (4,0 - 8,5)	69,1	12 (8 - 17)	0,2 (0,1 - 0,3)	2,1
Rural sous faible influence d'un pôle	368 (240 - 503)	9,5 (6,2 - 13,0)	262 (171 - 361)	6,8 (4,4 - 9,3)	71,4	18 (11 - 24)	0,5 (0,3 - 0,6)	4,8
Rural sous forte influence d'un pôle	408 (267 - 558)	9,5 (6,2 - 12,9)	290 (189 - 399)	6,7 (4,4 - 9,2)	71,1	17 (11 - 24)	0,4 (0,3 - 0,6)	4,3
Urbain densité intermédiaire	1 174 (768 - 1 603)	10,1 (6,6 - 13,8)	859 (559 - 1 179)	7,4 (4,8 - 10,1)	73,2	100 (64 - 139)	0,9 (0,6 - 1,2)	8,5
Urbain dense	507 (332 - 691)	10,9 (7,2 - 14,9)	382 (249 - 524)	8,2 (5,4 - 11,3)	75,4	67 (43 - 92)	1,4 (0,9 - 2,0)	13,1
Urbain dense au sein d'une métropole	1 077 (708 - 1 464)	12,3 (8,1 - 16,7)	845 (553 - 1 155)	9,6 (6,3 - 13,1)	78,5	243 (157 - 336)	2,8 (1,8 - 3,8)	22,5
France hexagonale	4 103 (2 688 - 5 599)	10,4 (6,8 - 14,1)	3 032 (1 977 - 4 160)	7,7 (5,0 - 10,5)	73,9***	456 (295 - 632)	1,2 (0,7 - 1,6)	11,1

* Estimation centrale et estimations basse et haute correspondant aux limites inférieure et supérieure de l'IC95% du RR.

** Pourcentage de l'estimation centrale.

*** Le poids total des PM_{2,5} sur les nouveaux cas de cancer du poumon représente 4 103 cas. Si la valeur de 5 µg/m³ de l'OMS était respectée, 73,9% de ces nouveaux cas de cancer du poumon (soit 3 032 nouveaux cas) seraient évités.

Figure 11 – Pourcentage de nouveaux cas de cancer du poumon attribuables aux PM_{2,5} parmi tous les cas de cancers du poumon (35 ans et plus) à partir des taux d'incidence départementaux, France hexagonale (2016-2019)



2.3.2.2. PM_{2,5} – BPCO

Dans le scénario « **Poids total des PM_{2,5}** », une réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} en France hexagonale jusqu'au seuil sans pollution anthropique de 3 µg/m³, permettrait d'éviter en moyenne 11,4% de tous les nouveaux cas de BPCO pour une année donnée, ce qui correspond à 22 242 cas (IC95% : 16 692 ; 27 393).

Une réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} en France hexagonale **jusqu'à la VG de l'OMS de 5 µg/m³**, soit une baisse moyenne de 4,6 µg/m³ (47,2%), permettrait d'éviter en moyenne, 8,5% des nouveaux cas de BPCO pour une année donnée, soit 16 445 cas (IC95% : 12 292 ; 20 329).

Ce nombre de cas évités représente presque 74% des cas de BPCO attribuables au poids total des PM_{2,5}.

Si la **valeur cible intermédiaire de l'OMS de 10 µg/m³** était respectée, soit une baisse moyenne de 0,3 µg/m³ (2,4%), en moyenne 1,3% des nouveaux cas de BPCO serait évités pour une année donnée, ce qui correspond à 2 475 cas (IC95% : 1 836 ; 3 082). Ainsi, avec ce scénario, seulement 11% de ces cas de BPCO attribuables au poids total des PM_{2,5} seraient évités.

Pour tous les scénarios, les pourcentages sont toujours plus élevés en zones urbaines (Tableau 17 et Figure 12).

Tableau 17 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour la BPCO (40 ans et plus) dans les différents scénarios, France hexagonale (2016-2019)

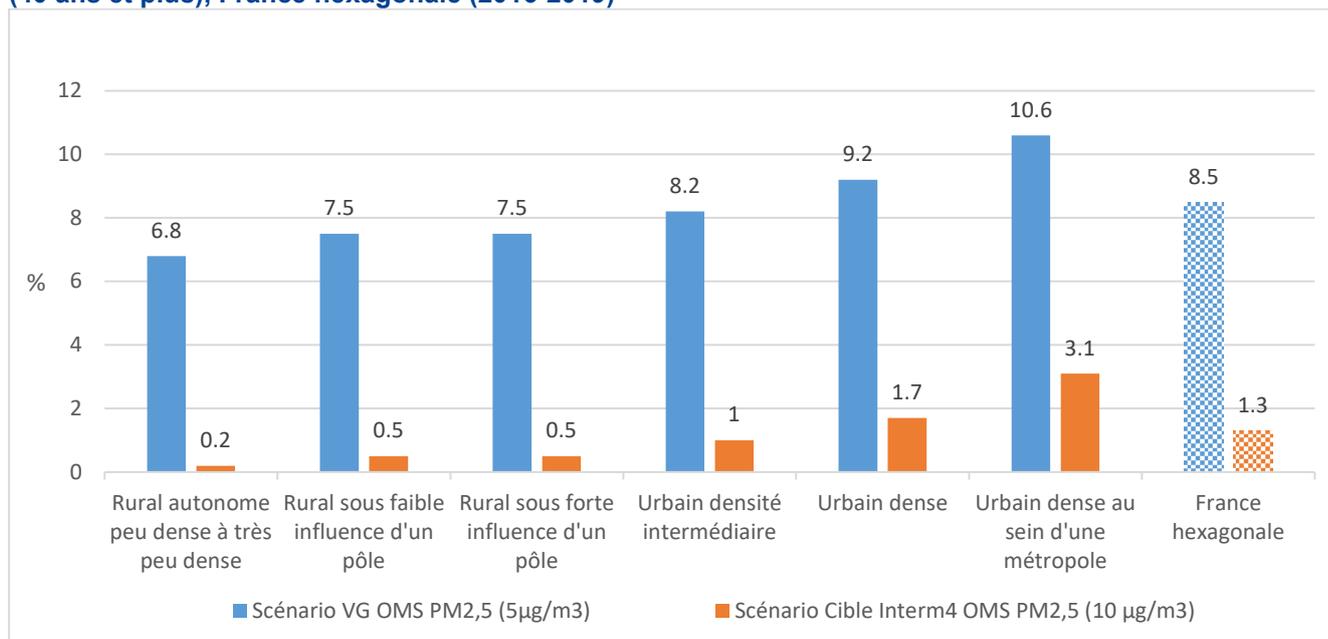
Classe de densité	Scénario Poids total des PM _{2,5} (3 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS PM _{2,5} (5 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS PM _{2,5} (10 µg/m ³)		
	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée*	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée**	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)
Rural autonome peu dense à très peu dense	3 327 (2 490 – 4 107)	9,8 (7,4 - 12,1)	2 299 (1 714 – 2 850)	6,8 (5,1 - 8,4)	69,1	73 (54 - 91)	0,2 (0,2 - 0,3)	2,2
Rural sous faible influence d'un pôle	1 906 (1 428 – 2 351)	10,5 (7,9 - 13,0)	1 361 (1 015 – 1 685)	7,5 (5,6 - 9,3)	71,4	89 (66 - 112)	0,5 (0,4 - 0,6)	4,7
Rural sous forte influence d'un pôle	1 882 (1 410 – 2 322)	10,5 (7,8 - 12,9)	1 341 (1 001 – 1 660)	7,5 (5,6 - 9,2)	71,2	82 (61 - 102)	0,5 (0,3 - 0,6)	4,4
Urbain densité intermédiaire	6 817 (5 113 – 8 400)	11,2 (8,4 - 13,8)	4 995 (3 732 – 6 178)	8,2 (6,1 - 10,1)	73,3	591 (438 - 736)	1,0 (0,7 - 1,2)	8,7
Urbain dense	2 711 (2 036 – 3 336)	12,2 (9,1 - 15,0)	2 052 (1 535 – 2 535)	9,2 (6,9 - 11,4)	75,7	378 (280 - 471)	1,7 (1,3 - 2,1)	13,9
Urbain dense au sein d'une métropole	5 599 (4 214 – 6 877)	13,6 (10,2 - 16,6)	4 397 (3 296 – 5 421)	10,6 (8,0 - 13,1)	78,5	1 262 (937 – 1 570)	3,1 (2,3 - 3,8)	22,5
France hexagonale	22 242 (16 692 – 27 393)	11,4 (8,6 - 14,1)	16 445 (12 292 – 20 329)	8,5 (6,3 - 10,5)	73,9***	2 475 (1 836 – 3 082)	1,3 (0,9 - 1,6)	11,1

* Estimation centrale et estimations basse et haute correspondant aux limites inférieure et supérieure de l'IC95% du RR.

** Pourcentage de l'estimation centrale.

*** Le poids total des PM_{2,5} sur les nouveaux cas de BPCO représente 22 242 cas. Si la valeur de 5 µg/m³ de l'OMS était respectée, 73,9% de ces nouveaux cas de cancer du poumon (soit 16 445 nouveaux cas) seraient évités.

Figure 12 – Pourcentage de nouveaux cas de BPCO attribuables aux PM_{2,5} parmi tous les cas de BPCO (40 ans et plus), France hexagonale (2016-2019)



2.3.2.3. PM_{2,5} – Asthme de l'enfant

La réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} en France hexagonale jusqu'au **seuil anthropique de 3 µg/m³** permettrait d'éviter en moyenne près de 20 % de tous les nouveaux cas d'asthme chez les enfants de 0-17 ans une année donnée, ce qui correspond à 39 541 cas (IC 95 % : 13 870 ; 61 451).

Une réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} en France hexagonale **jusqu'à la VG de l'OMS de 5 µg/m³**, soit une baisse moyenne de 4,6 µg/m³ (47,2%), permettrait d'éviter en moyenne près de 15% des nouveaux cas d'asthme chez l'enfant pour une année donnée, ce qui correspond à 29 749 cas (IC 95% : 10 249 ; 47 025). Ce pourcentage moyen attendrait 17,7 % en zone urbaine dense. Dans ce scénario, ce nombre de cas représente plus de 75% des cas d'asthme attribuables au poids des PM_{2,5}.

Si l'objectif est d'atteindre la **valeur cible intermédiaire de l'OMS de 10 µg/m³**, soit une baisse moyenne de 0,3 µg/m³ (2,4%), le pourcentage de nouveaux cas d'asthme infantile évités une année donnée est plus faible, en moyenne, 2,4 %, ce qui correspond à 4 774 nouveaux cas (IC 95% : 1 588 ; 7 804). Avec ce scénario, 12 % des nouveaux cas d'asthme infantile attribuables au poids des PM_{2,5} seraient évités.

Pour tous les scénarios les bénéfices attendus pour l'asthme de l'enfant présentent toujours le même gradient rural-urbain (Tableau 18 et Figure 13).

Tableau 18 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour asthme de l'enfant (0-17 ans) dans les différents scénarios, France hexagonale (2016-2019)

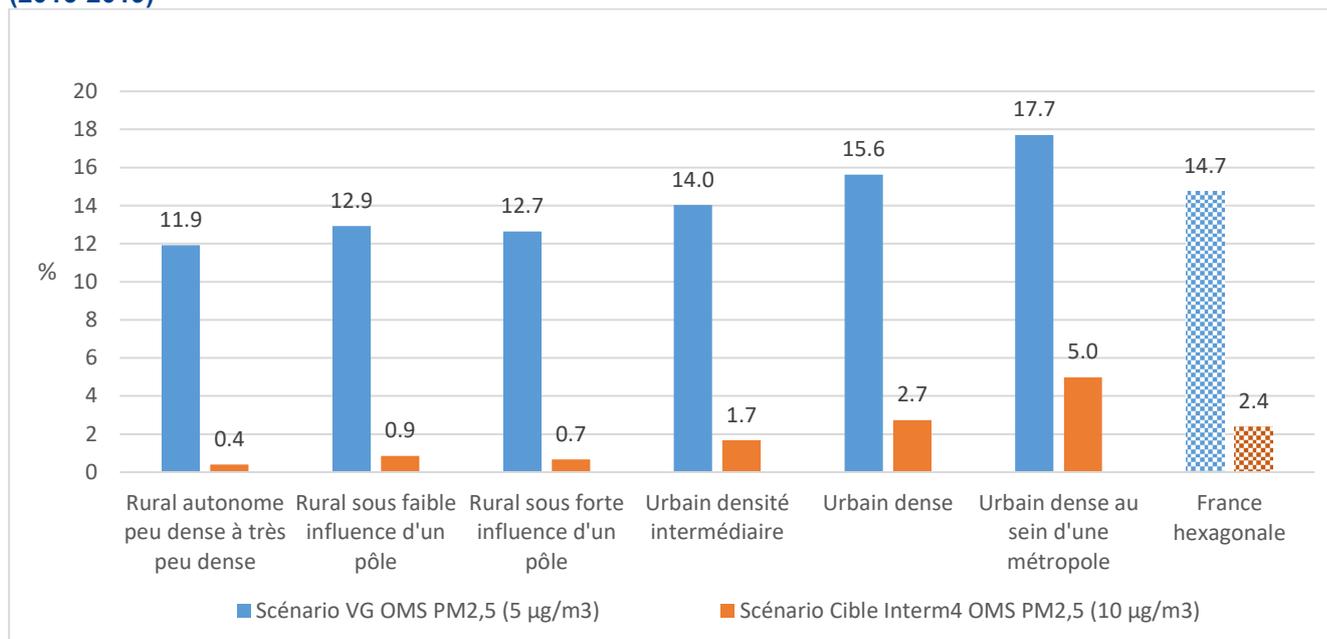
Classe de densité	Scénario Poids total des PM _{2,5} (3 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS PM _{2,5} (5 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS PM _{2,5} (10 µg/m ³)		
	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée*	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée**	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)
Rural autonome peu dense à très peu dense	3 885 (1 347 – 6 104)	16,9 (5,9 - 26,6)	2 736 (931 – 4 376)	11,9 (4,1 - 19,1)	70,4	94 (31 - 155)	0,4 (0,1 - 0,7)	2,4
Rural sous faible influence d'un pôle	3 146 (1 095 – 4 926)	17,9 (6,2 - 28,0)	2 275 (777 – 3 624)	12,9 (4,4 - 20,6)	72,3	151 (50 - 249)	0,9 (0,3 - 1,4)	4,8
Rural sous forte influence d'un pôle	4 073 (1 416 – 6 383)	17,6 (6,1 - 27,6)	2 924 (998 – 4 664)	12,6 (4,3 - 20,2)	71,8	154 (51 - 253)	0,7 (0,2 - 1,1)	3,8
Urbain densité intermédiaire	10 893 (3 809 – 16 980)	18,9 (6,6 - 29,5)	8 079 (2 774 – 12 812)	14,0 (4,8 - 22,3)	74,2	960 (318 – 1 575)	1,7 (0,6 - 2,7)	8,8
Urbain dense	5 516 (1 939 – 8 555)	20,4 (7,2 - 31,7)	4 220 (1 457 – 6 660)	15,6 (5,4 - 24,7)	76,5	741 (245 – 1 217)	2,7 (0,9 - 4,5)	13,4
Urbain dense au sein d'une métropole	12 028 (4 264 – 18 504)	22,4 (7,9 - 34,4)	9 514 (3 313 – 14 889)	17,7 (6,2 - 27,7)	79,1	2 674 (893 – 4 355)	5,0 (1,7 - 8,1)	22,2
France hexagonale	39 541 (13 870 – 61 451)	19,6 (6,9 - 30,4)	29 749 (10 249 – 47 025)	14,7 (5,1 - 23,3)	75,2***	4 774 (1 588 – 7 804)	2,4 (0,8 - 3,9)	12,1

* Estimation centrale et estimations basse et haute correspondant aux limites inférieure et supérieure de l'IC à 95% du RR.

** Pourcentage de l'estimation centrale.

*** Le poids total des PM_{2,5} sur les nouveaux cas d'asthme de l'enfant représente 39 541 cas. Si la valeur de 5 µg/m³ de l'OMS était respectée, 75,2 % de ces nouveaux cas d'asthme de l'enfant (soit 29 749 nouveaux cas) seraient évités.

Figure 13 – Pourcentage de nouveaux cas d'asthme de l'enfant (0-17 ans) attribuables aux PM_{2,5} parmi tous les cas d'asthme de l'enfant à partir des taux d'incidence départementaux, France hexagonale (2016-2019)



Impact des PM_{2,5} au niveau cardiovasculaire

2.3.2.4. PM_{2,5} – Accident vasculaire cérébral

La réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} en France hexagonale jusqu'au **seuil anthropique de 3 µg/m³** permettrait d'éviter en moyenne 10,3% de tous les nouveaux cas d'AVC une année donnée, ce qui correspond à 10 016 cas (IC95 % : 7 749 ; 12 149). Ce pourcentage pourrait atteindre plus de 12% dans les zones urbaines denses au sein d'une métropole.

Une réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} en France hexagonale **jusqu'à la valeur guide (VG) de l'OMS de 5 µg/m³**, soit une baisse moyenne de 4,6 µg/m³ (47,2%), permettrait d'éviter en moyenne 7,6% des nouveaux cas d'AVC pour une année donnée, ce qui représente 7 396 cas (IC95% : 5 704 ; 8 999). Dans ce scénario, ce nombre de cas représente près de 74% des cas d'AVC attribuables au poids total des PM_{2,5}.

Si la **valeur cible intermédiaire de l'OMS de 10 µg/m³** était respectée, soit une baisse moyenne de 0,3 µg/m³ (2,4%), le bénéfice est moindre, de l'ordre de 1,2% en moyenne, ce qui correspond à 1 123 nouveaux cas (IC95% : 861 ; 1 375). Ainsi, avec ce scénario, 11% des cas d'AVC liés au poids total des PM_{2,5} seraient évités.

Tous les résultats sont présentés en Tableau 19. Pour tous les scénarios, ces pourcentages sont toujours plus élevés en zones urbaines (Figure 14).

Lorsque, en analyse de sensibilité, le calcul s'est fait en prenant en compte tous les codes Insee, qu'ils concordent ou pas aux codes géographiques PMSI, les impacts peuvent être légèrement plus élevés (Tableau 4 section 3.2. en Annexe 3).

Tableau 19 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour AVC (35 ans et plus) dans les différents scénarios, sur patients des communes dont le code Insee et le code géographique PMSI étaient concordants, France hexagonale (2016-2019)

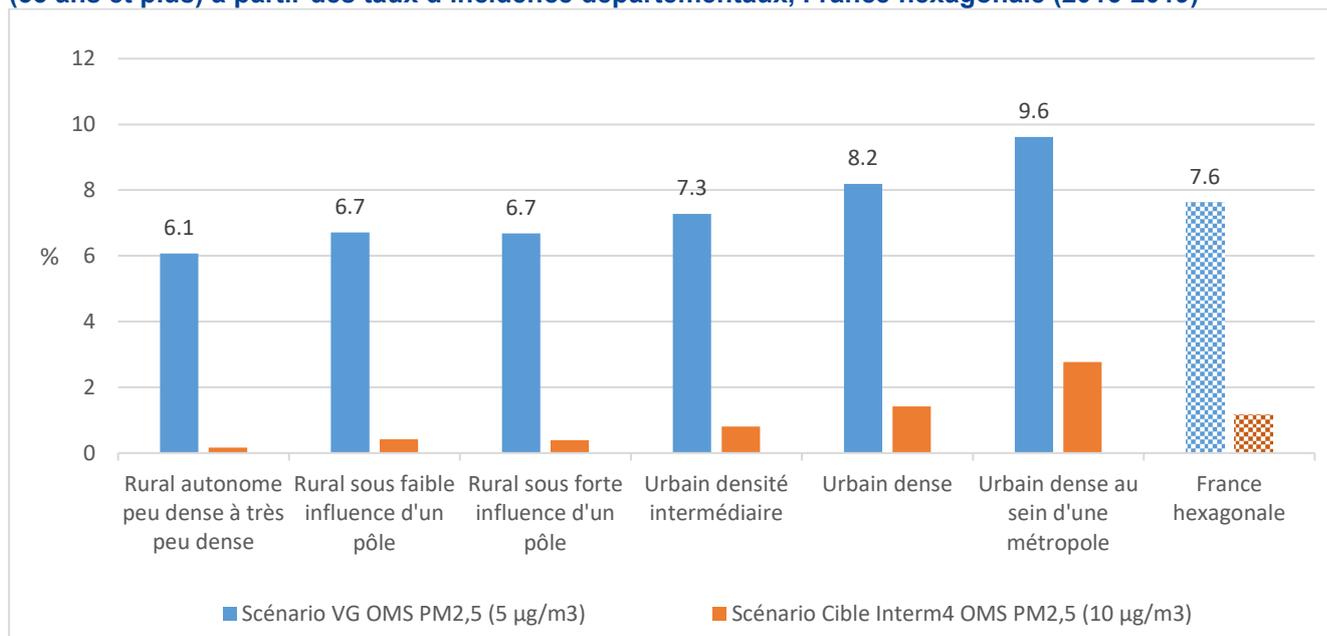
Classe de densité	Scénario Poids total des PM _{2,5} (3 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS PM _{2,5} (5 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS PM _{2,5} (10 µg/m ³)		
	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée*	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée**	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)
Rural autonome peu dense à très peu dense	1 420 (1 096 ; 1 726)	8,8 (6,8 - 10,7)	978 (752 ; 1 192)	6,1 (4,7 - 7,4)	68,9	27 (21 ; 33)	0,2 (0,1 - 0,2)	1,9
Rural sous faible influence d'un pôle	834 (645 ; 1 013)	9,4 (7,3 - 11,5)	593 (457 ; 723)	6,7 (5,2 - 8,2)	71,1	37 (28 ; 45)	0,4 (0,3 - 0,5)	4,5
Rural sous forte influence d'un pôle	815 (630 ; 990)	9,4 (7,3 - 11,4)	579 (446 ; 705)	6,7 (5,1 - 8,1)	71,0	34 (26 ; 41)	0,4 (0,3 - 0,5)	4,1
Urbain densité intermédiaire	2 877 (2 224 ; 3 491)	10,0 (7,7 - 12,1)	2 096 (1 615 ; 2 552)	7,3 (5,6 - 8,9)	72,9	232 (178 ; 284)	0,8 (0,6 - 1,0)	8,1
Urbain dense	1 325 (1 026 ; 1 607)	10,9 (8,4 - 13,2)	998 (770 ; 1 214)	8,2 (6,3 - 10,0)	75,3	173 (133 ; 212)	1,4 (1,1 - 1,7)	13,1
Urbain dense au sein d'une métropole	2 745 (2 128 ; 3 322)	12,3 (9,5 - 14,8)	2 153 (1 664 ; 2 614)	9,6 (7,4 - 11,7)	78,5	621 (476 ; 759)	2,8 (2,1 - 3,4)	22,6
France hexagonale	10 016 (7 749 ; 12 149)	10,3 (8,0 - 12,5)	7 396 (5 704 ; 8 999)	7,6 (5,9 - 9,3)	73,9***	1 123 (861 ; 1 375)	1,2 (0,9 - 1,4)	11,2

* Estimation centrale et estimations basse et haute correspondant aux limites inférieure et supérieure de l'IC95 % du RR.

** Pourcentage de l'estimation centrale.

*** Le poids total des PM_{2,5} sur les nouveaux cas d'AVC représente 10 016 cas. Si la valeur de 5 µg/m³ de l'OMS était respectée, 73,9% de ces nouveaux cas d'AVC (soit 7 396 nouveaux cas) seraient évités.

Figure 14 – Pourcentage de nouveaux cas d'AVC attribuables aux PM_{2,5} parmi tous les cas d'AVC (35 ans et plus) à partir des taux d'incidence départementaux, France hexagonale (2016-2019)



2.3.2.5. PM_{2,5}– Infarctus aigu du myocarde (IAM)

La réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} en France hexagonale jusqu'au **seuil anthropique de 3 µg/m³** permettrait d'éviter en moyenne, une année donnée, 8,5% de tous les nouveaux cas d'IAM chez les 30 ans et plus, ce qui correspond à 8 145 cas (IC95% : 3 342 ; 12 881).

Une réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} en France hexagonale **jusqu'à la VG de l'OMS de 5 µg/m³**, soit une baisse moyenne de 4,6 µg/m³ (47,2%), permettrait d'éviter en moyenne 6% des nouveaux cas d'IAM pour une année donnée, ce qui correspond à 5 982 cas (IC95% : 2 438 ; 9 527). Ce pourcentage moyen atteindrait 8% en zone urbaine dense au sein d'une métropole. Dans ce scénario, ce nombre de cas représente 73,5% des nouveaux cas d'IAM attribuables au poids des PM_{2,5}.

Si l'objectif est d'atteindre la **valeur cible intermédiaire de l'OMS de 10 µg/m³**, soit une baisse moyenne de 0,3 µg/m³ (2,4%), le pourcentage de nouveaux cas d'IAM évités une année donnée est plus faible, en moyenne 0,9%, ce qui correspond à 860 nouveaux cas (IC95% : 346 ; 1 388). Avec ce scénario, 10,6% des nouveaux cas d'IAM attribuables au poids des PM_{2,5} seraient évités.

Pour tous les scénarios les bénéfices attendus pour l'infarctus aigu du myocarde présentent toujours le même gradient rural-urbain (Tableau 20 et Figure 15).

Tableau 20 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour l'infarctus du myocarde (30 ans et plus) dans les différents scénarios, France hexagonale (2016-2019)

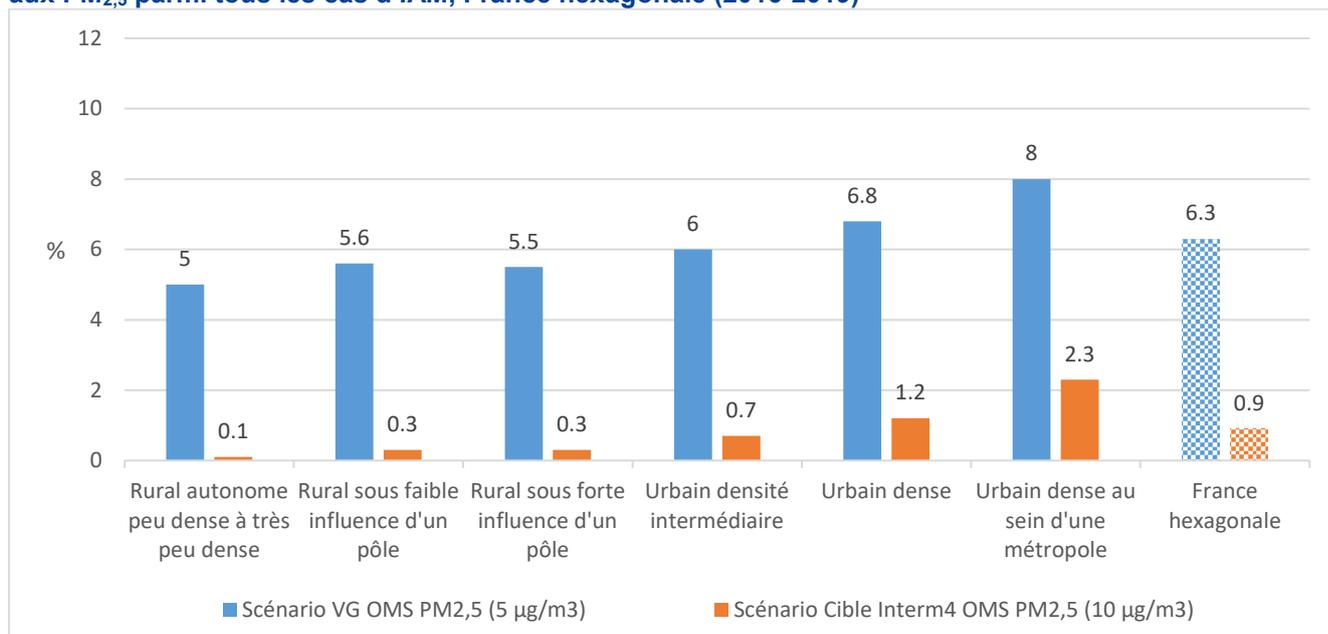
Classe de densité	Scénario Poids total des PM _{2,5} (3 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS PM _{2,5} (5 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS PM _{2,5} (10 µg/m ³)		
	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée*	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée**	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)
Rural autonome peu dense à très peu dense	1 228 (502 – 1 951)	7,3 (3,0 – 11,6)	843 (342 – 1 349)	5,0 (2,0 – 8,0)	68,7	22 (9 – 36)	0,1 (0,1 – 0,2)	1,8
Rural sous faible influence d'un pôle	717 (294 – 1 137)	7,8 (3,2 – 12,4)	509 (207 – 813)	5,6 (2,3 – 8,9)	70,9	31 (13 – 51)	0,3 (0,1 – 0,6)	4,4
Rural sous forte influence d'un pôle	711 (291 – 1 128)	7,8 (3,2 – 12,4)	503 (204 – 803)	5,5 (2,2 – 8,8)	70,7	28 (11 – 45)	0,3 (0,1 – 0,5)	3,9
Urbain densité intermédiaire	2 438 (999 – 3 859)	8,3 (3,4 – 13,1)	1 772 (721 – 2 825)	6,0 (2,5 – 9,6)	72,7	193 (78 – 312)	0,7 (0,3 – 1,1)	7,9
Urbain dense	1 007 (414 – 1 590)	9,1 (3,7 – 14,4)	758 (309 – 1 206)	6,8 (2,8 – 10,9)	75,2	133 (53 – 215)	1,2 (0,5 – 1,9)	13,2
Urbain dense au sein d'une métropole	2 043 (843 – 3 214)	10,2 (4,2 – 16,0)	1 598 (654 – 2 532)	8,0 (3,3 – 12,6)	78,2	453 (183 – 729)	2,3 (0,9 – 3,6)	22,2
France hexagonale	8 145 (3 342 – 12 881)	8,5 (3,5 – 13,5)	5 982 (2 438 – 9 527)	6,3 (2,6 – 10,0)	73,5	860 (346 – 1 388)	0,9 (0,4 – 1,5)	10,6

* Estimation centrale et estimations basse et haute correspondant aux limites inférieure et supérieure de l'IC à 95 % du RR.

** Pourcentage de l'estimation centrale.

*** Le poids total des PM_{2,5} sur les nouveaux cas d'IAM représente 8 145 cas. Si la valeur de 5 µg/m³ de l'OMS était respectée, 73,5% de ces nouveaux cas d'IAM (soit 5 982 nouveaux cas) seraient évités.

Figure 15 – Pourcentage de nouveaux cas d'infarctus aigu du myocarde (30 ans et plus) attribuables aux PM_{2,5} parmi tous les cas d'IAM, France hexagonale (2016-2019)



2.3.2.6. PM_{2,5}– Hypertension artérielle (HTA)

La réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} en France hexagonale jusqu'au **seuil anthropique de 3 µg/m³** permettrait d'éviter en moyenne, une année donnée, 11% de tous les nouveaux cas d'HTA chez les 18 ans et plus, ce qui correspond à 78 001 cas (IC 95 % : 25 253 ; 125 329).

Une réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} en France hexagonale **jusqu'à la VG de l'OMS de 5 µg/m³**, soit une baisse moyenne de 4,6 µg/m³ (47,2%), permettrait d'éviter en moyenne 8,1% des nouveaux cas d'HTA pour une année donnée, ce qui correspond à 57 764 cas (IC95% : 18 514 ; 93 701). Ce pourcentage moyen atteindrait 10% en zone urbaine dense au sein d'une métropole. Dans ce scénario, ce nombre de cas représente 74% des nouveaux cas d'HTA attribuables au poids des PM_{2,5}.

Si l'objectif est d'atteindre la **valeur cible intermédiaire de l'OMS de 10 µg/m³**, soit une baisse moyenne de 0,3 µg/m³ (2,4%), le pourcentage de nouveaux cas d'HTA évités une année donnée est plus faible, en moyenne, 1,2%, ce qui correspond à 8 820 nouveaux cas (IC95% : 2 773 ; 14 571). Avec ce scénario, 11,3% des nouveaux cas d'HTA attribuables au poids des PM_{2,5} seraient évités.

Pour tous les scénarios les bénéfices attendus pour l'HTA présentent toujours le même gradient rural-urbain (Tableau 21 et Figure 16).

Tableau 21 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour l'hypertension artérielle (18 ans et plus) dans les différents scénarios, France hexagonale (2016-2019)

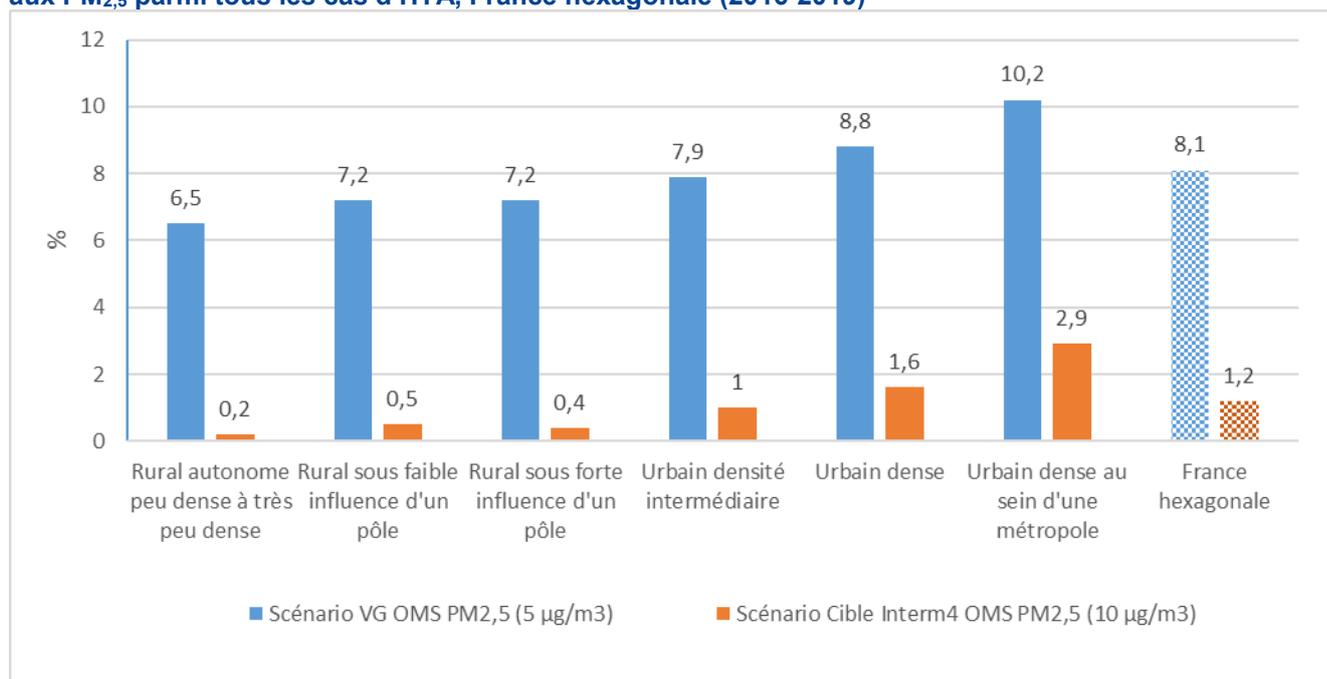
Classe de densité	Scénario Poids total des PM _{2,5} (3 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS PM _{2,5} (5 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS PM _{2,5} (10 µg/m ³)		
	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée*	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée**	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)
Rural autonome peu dense à très peu dense	11 092 (3 568 – 17 934)	9,4 (3,0 - 15,2)	7 685 (2 446 – 12 548)	6,5 (2,1 - 10,6)	69,3	252 (79 - 419)	0,2 (0,1 - 0,4)	2,3
Rural sous faible influence d'un pôle	7 104 (2 291 – 11 456)	10,1 (3,3 - 16,3)	5 087 (1 624 – 8 283)	7,2 (2,3 - 11,8)	71,6	363 (114 - 601)	0,5 (0,2 - 0,9)	5,1
Rural sous forte influence d'un pôle	7 569 (2 440 – 12 209)	10,0 (3,2 - 16,2)	5 403 (1 724 – 8 800)	7,2 (2,3 - 11,7)	71,4	339 (106 - 563)	0,4 (0,1 - 0,7)	4,5
Urbain densité intermédiaire	22 304 (7 211 – 35 880)	10,7 (3,5 - 17,2)	16 368 (5 239 – 26 587)	7,9 (2,5 - 12,8)	73,4	1 997 (627 – 3 304)	1,0 (0,3 - 1,6)	9,0
Urbain dense	10 036 (3 255 – 16 099)	11,6 (3,8 - 18,6)	7 591 (2 437 – 12 296)	8,8 (2,8 - 14,2)	75,6	1 351 (424 – 2 237)	1,6 (0,5 - 2,6)	13,5
Urbain dense au sein d'une métropole	19 896 (6 487 – 31 752)	13,0 (4,2 - 20,7)	15 630 (5 045 – 25 187)	10,2 (3,3 - 16,4)	78,6	4 518 (1 424 – 7 447)	2,9 (0,9 - 4,8)	22,7
France hexagonale	78 001 (25 253 – 125 329)	10,9 (3,5 - 17,6)	57 764 (18 514 – 93 701)	8,1 (2,6 - 13,2)	74,1***	8 820 (2 773 – 14 571)	1,2 (0,4 - 2)	11,3

* Estimation centrale et estimations basse et haute correspondant aux limites inférieure et supérieure de l'IC95 % du RR.

** Pourcentage de l'estimation centrale.

*** Le poids total des PM_{2,5} sur les nouveaux cas d'HTA représente 78 001 cas. Si la valeur de 5 µg/m³ de l'OMS était respectée, 74,1 % de ces nouveaux cas d'HTA (soit 57 764 nouveaux cas) seraient évités.

Figure 16 – Pourcentage de nouveaux cas d'hypertension artérielle (HTA) (18 ans et plus) attribuables aux PM_{2,5} parmi tous les cas d'HTA, France hexagonale (2016-2019)



Impact des PM_{2,5} sur des maladies métaboliques

2.3.2.7. PM_{2,5}– Diabète de type 2

La réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} en France hexagonale jusqu'au **seuil anthropique de 3 µg/m³** permettrait d'éviter en moyenne, une année donnée, 6,9% de tous les nouveaux cas de diabète de type 2 chez les 45 ans et plus, ce qui correspond à 14 476 cas (IC95% : 4 604 ; 24 475).

Une réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} en France hexagonale **jusqu'à la VG de l'OMS de 5 µg/m³**, soit une baisse moyenne de 4,6 µg/m³ (47,2%), permettrait d'éviter en moyenne près de 5% des nouveaux cas de diabète de type 2 une année donnée chez les 45 ans et plus, ce qui correspond à 10 702 cas (IC95% : 3 383 ; 18 211). Ce pourcentage moyen atteindrait 6% en zone urbaine dense au sein d'une métropole. Dans ce scénario, ce nombre de cas représente près de 74% des nouveaux cas de diabète de type 2 chez les 45 ans et plus attribuables au poids des PM_{2,5}.

Si l'objectif est d'atteindre la **valeur cible intermédiaire de l'OMS de 10 µg/m³**, soit une baisse moyenne de 0,3 µg/m³ (2,4%), le pourcentage de nouveaux cas de diabète de type 2 chez les 45 ans et plus évités une année donnée est plus faible, en moyenne 0,8%, ce qui correspond à 1 708 nouveaux cas (IC95% : 533 ; 2 943). Avec ce scénario, presque 12% des nouveaux cas de diabète de type 2 chez les 45 ans et plus attribuables au poids des PM_{2,5} seraient évités.

Pour tous les scénarios les bénéfices attendus pour le diabète de type 2 chez les 45 ans et plus sont plus importants en zones urbaines (Tableau 22 et Figure 17).

Lorsqu'en analyse de sensibilité, la tranche d'âge retenue est celle proposée par EMAPEC (30 ans et plus), l'impact est un peu plus élevé (Tableau 5 section 3.3. en Annexe 3).

Tableau 22 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour le diabète de type 2 (45 ans et plus) dans les différents scénarios, France hexagonale (2016-2019)

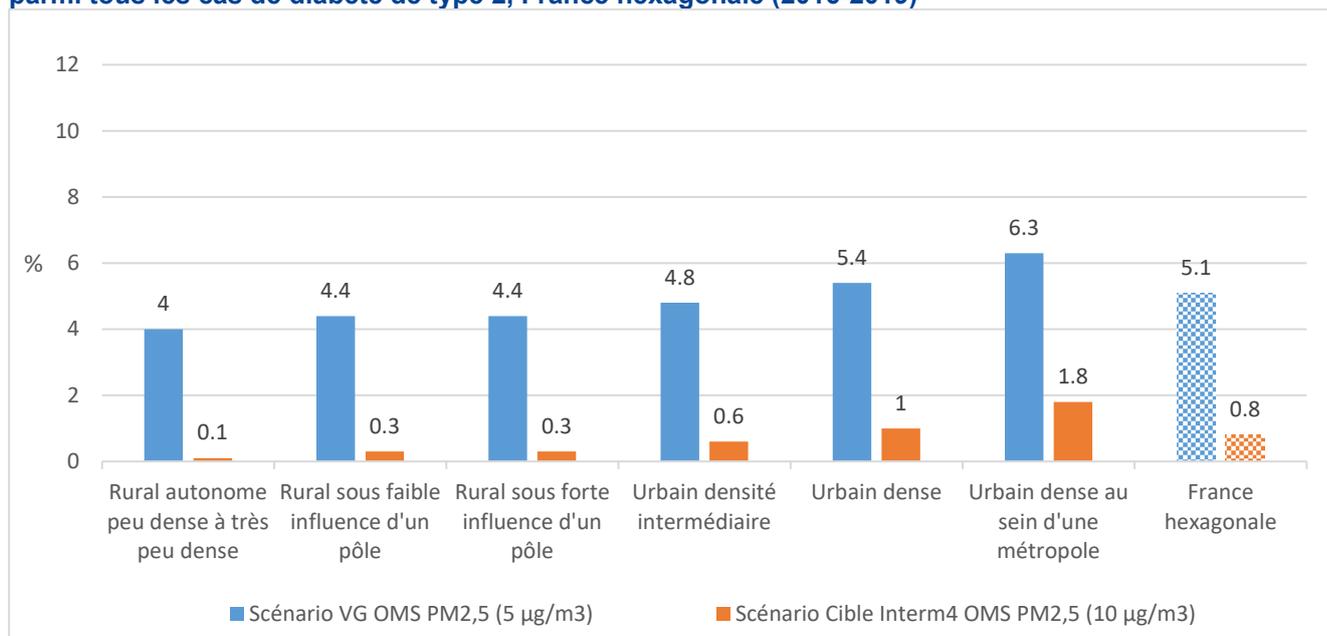
Classe de densité	Scénario Poids total des PM _{2,5} (3 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS PM _{2,5} (5 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS PM _{2,5} (10 µg/m ³)		
	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée*	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée**	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)
Rural autonome peu dense à très peu dense	1 864 (590 – 3 166)	5,8 (1,8 - 9,9)	1 283 (404 – 2 193)	4,0 (1,3 - 6,8)	68,8	40 (13 - 70)	0,1 (0,0 - 0,2)	2,2
Rural sous faible influence d'un pôle	1 146 (363 – 1 943)	6,2 (2,0 - 10,6)	814 (257 – 1 390)	4,4 (1,4 - 7,6)	71,1	55 (17 - 95)	0,3 (0,1 - 0,5)	4,8
Rural sous forte influence d'un pôle	1 191 (378 – 2 020)	6,2 (2,0 - 10,5)	844 (266 – 1 441)	4,4 (1,4 - 7,5)	70,9	51 (16 - 88)	0,3 (0,1 - 0,5)	4,3
Urbain densité intermédiaire	4 091 (1 300 – 6 926)	6,6 (2,1 - 11,2)	2 984 (942 – 5 085)	4,8 (1,5 - 8,3)	72,9	354 (111 - 611)	0,6 (0,2 - 1,0)	8,7
Urbain dense	2 012 (640 – 3 399)	7,2 (2,3 - 12,2)	1 514 (479 – 2 575)	5,4 (1,7 - 9,2)	75,3	267 (83 - 461)	1,0 (0,3 - 1,7)	13,3
Urbain dense au sein d'une métropole	4 171 (1 332 – 7 021)	8,1 (2,6 - 13,7)	3 262 (1 035 – 5 527)	6,3 (2,0 - 10,7)	78,2	940 (294 – 1 617)	1,8 (0,6 - 3,1)	22,5
France hexagonale	14 476 (4 604 – 24 475)	6,9 (2,2 - 11,6)	10 702 (3 383 – 18 211)	5,1 (1,6 - 8,6)	73,9***	1 708 (533 – 2 943)	0,8 (0,3 - 1,4)	11,8

* Estimation centrale et estimations basse et haute correspondant aux limites inférieure et supérieure de l'IC95% du RR.

** Pourcentage de l'estimation centrale.

*** Le poids total des PM_{2,5} sur les nouveaux cas de diabète de type 2 représente 14 476 cas. Si la valeur de 5 µg/m³ de l'OMS était respectée, 73,9%** de ces nouveaux cas de diabète (soit 10 702 nouveaux cas) seraient évités.

Figure 17 – Pourcentage de nouveaux cas de diabète de type 2 (45 ans et plus) attribuables aux PM_{2,5} parmi tous les cas de diabète de type 2, France hexagonale (2016-2019)



Impact du NO₂ au niveau respiratoire

2.3.2.8. NO₂– Asthme de l'enfant

Étant donné que les niveaux de NO₂ dans les zones non urbaines sont faibles et inférieurs au champ d'application de la FCR, une analyse complémentaire a été effectuée, limitée aux seules zones urbaines.

Si l'on réduit les niveaux moyens annuels de NO₂ en France hexagonale jusqu'au **seuil anthropique de 1 µg/m³**, en moyenne, 13% des cas d'asthme chez l'enfant de 0-17 ans seraient évités une année donnée, ce qui correspond à 26 087 cas (IC95% : 13 921 ; 42 633). Si l'analyse était restreinte aux seules zones urbaines, ce bénéfice serait supérieur (15,5%) et en zones urbaines denses au sein d'une métropole ce pourcentage pourrait atteindre 20%.

Une réduction des niveaux moyens annuels de NO₂ en France hexagonale **jusqu'à la VG de l'OMS de 10 µg/m³**, soit une baisse moyenne de 0,9 µg/m³ (5,7%), permettrait d'éviter en moyenne près de 6% des nouveaux cas d'asthme de l'enfant de 0-17 ans pour une année donnée, ce qui correspond à près de 11 500 (IC95% : 6 071 ; 19 082). Dans ce scénario, ce nombre représente plus de 44% des nouveaux cas d'asthme infantile attribuables au poids total du NO₂. L'analyse se limitant aux seules zones urbaines montre un impact plus important dans ces zones (8% des nouveaux cas évités, soit presque 52% des nouveaux cas attribuables à la pollution anthropique), et dans les zones urbaines denses au sein d'une métropole urbaines denses, près de 13% des nouveaux cas évités, soit 64% des nouveaux cas attribuables au poids total du NO₂.

Si la **valeur cible intermédiaire de l'OMS de 20 µg/m³** était respectée, soit une baisse moyenne de 0,1 µg/m³ (0,2%), en moyenne 1,4% des nouveaux cas d'asthme de l'enfant de 0-17 ans seraient évités une année donnée, ce qui correspond à 2 927 cas (IC95% : 1 532 ; 4 917). Avec ce scénario, seuls 11% des nouveaux cas d'asthme infantile attribuables au poids total du NO₂ seraient évités. Les chiffres sont légèrement plus élevés lorsque l'analyse se limite aux zones urbaines (Tableau 23 et Figure 18).

Tableau 23 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de NO₂ pour asthme de l'enfant (0-17 ans) dans les différents scénarios, France hexagonale (2016-2019)

Classe de densité	Scénario Poids total des NO ₂ (1 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS NO ₂ (10 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS NO ₂ (20 µg/m ³)		
	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée*	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée**	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des NO ₂ (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des NO ₂ (%)
Rural autonome peu dense à très peu dense	1 462 (762 – 2 473)	6,4 (3,3 - 10,8)	64 (33 - 110)	0,3 (0,1 - 0,5)	4,4	0 (0 - 0)	0,0 (0,0 - 0,0)	0,02
Rural sous faible influence d'un pôle	1 306 (682 – 2 199)	7,4 (3,9 - 12,5)	125 (65 - 214)	0,7 (0,4 - 1,2)	9,6	0 (0 - 1)	0,0 (0,0 - 0,0)	0,03
Rural sous forte influence d'un pôle	1 835 (960 – 3 084)	7,9 (4,2 - 13,3)	200 (104 - 343)	0,9 (0,4 - 1,5)	10,9	2 (1 - 3)	0,0 (0,0 - 0,0)	0,1
Urbain densité intermédiaire	6 500 (3 431 – 10 784)	11,3 (6,0 - 18,7)	2 013 (1 046 – 3 421)	3,5 (1,8 - 5,9)	31,0	35 (18 - 60)	0,1 (0,0 - 0,1)	0,5
Urbain dense	4 257 (2 274 – 6 940)	15,8 (8,4 - 25,7)	2 218 (1 164 – 3 715)	8,2 (4,3 - 13,8)	52,1	285 (147 - 487)	1,1 (0,5 - 1,8)	6,7
Urbain dense au sein d'une métropole	10 728 (5 811 – 17 152)	20,0 (10,8 - 31,9)	6 877 (3 660 – 11 278)	12,8 (6,8 - 21,0)	64,1	2 605 (1 366 – 4 366)	4,8 (2,5 - 8,1)	24,3
Ensemble urbain***	21 485 (11 516 – 34 876)	15,5 (8,3 - 25,2)	11 109 (5 869 – 18 415)	8 (4,2 - 13,3)	51,7	2 925 (1 531 – 4 913)	2,1 (1,1 - 3,6)	13,6
France hexagonale	26 087 (13 921 – 42 633)	12,9 (6,9 - 21,1)	11 498 (6 071 – 19 082)	5,7 (3 - 9,4)	44,1****	2 927 (1 532 – 4 917)	1,4 (0,8 - 2,4)	11,2

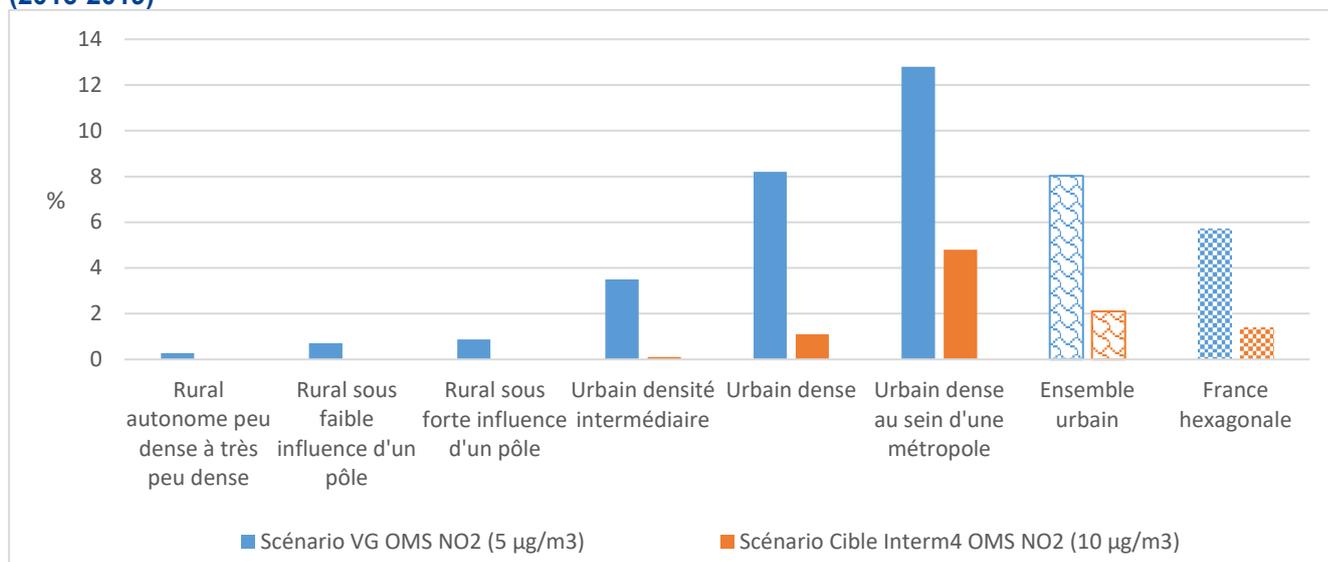
* Estimation centrale et estimations basse et haute correspondant aux limites inférieure et supérieure de l'IC95% du RR.

** Pourcentage de l'estimation centrale.

*** Ensemble urbain correspond à une analyse réalisée seulement pour les zones urbaines

**** Le poids total du NO₂ sur les nouveaux cas d'asthme de l'enfant représente 26 087 cas. Si la valeur de 10 µg/m³ de l'OMS était respectée, 44,1% de ces nouveaux cas d'asthme de l'enfant (soit 11 498 nouveaux cas) seraient évités.

Figure 18 – Pourcentage de nouveaux cas d'asthme de l'enfant (0-17 ans) attribuables au NO₂ parmi tous les cas d'asthme de l'enfant à partir des taux d'incidence départementaux, France hexagonale (2016-2019)



2.3.2.9. NO₂ – ALRI

Si l'on réduit les niveaux moyens annuels de NO₂ jusqu'au **seuil anthropique de 1 µg/m³** en France hexagonale, en moyenne, 12% des cas d'ALRI chez l'enfant de 0-12 ans seraient évités une année donnée, ce qui correspond à 7 094 cas (IC95% : 2 565 ; 11 552). Si l'analyse était restreinte aux seules zones urbaines, ce bénéfice serait supérieur (14,4%) et en zones urbaines denses au sein d'une métropole ce pourcentage pourrait atteindre 18,5%.

Une réduction des niveaux moyens annuels de NO₂ en France hexagonale **jusqu'à la valeur guide (VG) de l'OMS de 10 µg/m³**, soit une baisse moyenne de 0,9 µg/m³ (5,7%), permettrait d'éviter en moyenne, 5,7% des nouveaux cas d'ALRI chez l'enfant pour une année donnée, ce qui correspond à près de 3 279 (IC95% : 1 169 ; 5 420). Dans ce scénario, ce nombre représente plus de 46% des nouveaux cas d'ALRI chez l'enfant attribuables au poids total du NO₂. L'analyse se limitant aux seules zones urbaines montre un impact plus important dans ces zones (7,6% des nouveaux cas évités, soit 52,4% des nouveaux cas attribuables à la pollution anthropique), et dans les zones urbaines denses au sein d'une métropole, près de 12% des nouveaux cas évités, soit 64,5% des nouveaux cas attribuables au poids total du NO₂.

Si la **valeur cible intermédiaire de l'OMS de 20 µg/m³** était respectée, soit une baisse moyenne de 0,1 µg/m³ (0,2%), en moyenne 1,5% des nouveaux cas d'ALRI chez l'enfant seraient évités une année donnée, ce qui correspond à 851 cas (IC95% : 300 ; 1 424). Avec ce scénario, 12% des nouveaux cas d'asthme infantile attribuables au poids total du NO₂ seraient évités. Les chiffres sont plus élevés lorsque l'analyse se limite aux zones urbaines. Dans les zones urbaines denses au sein d'une métropole, près de 5% des nouveaux cas seraient évités, soit 25% des nouveaux cas attribuables au poids total du NO₂ (Tableau 24 et Figure 19).

Tableau 24 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de NO₂ pour ALRI (0-12 ans) dans les différents scénarios, France hexagonale (2016-2019)

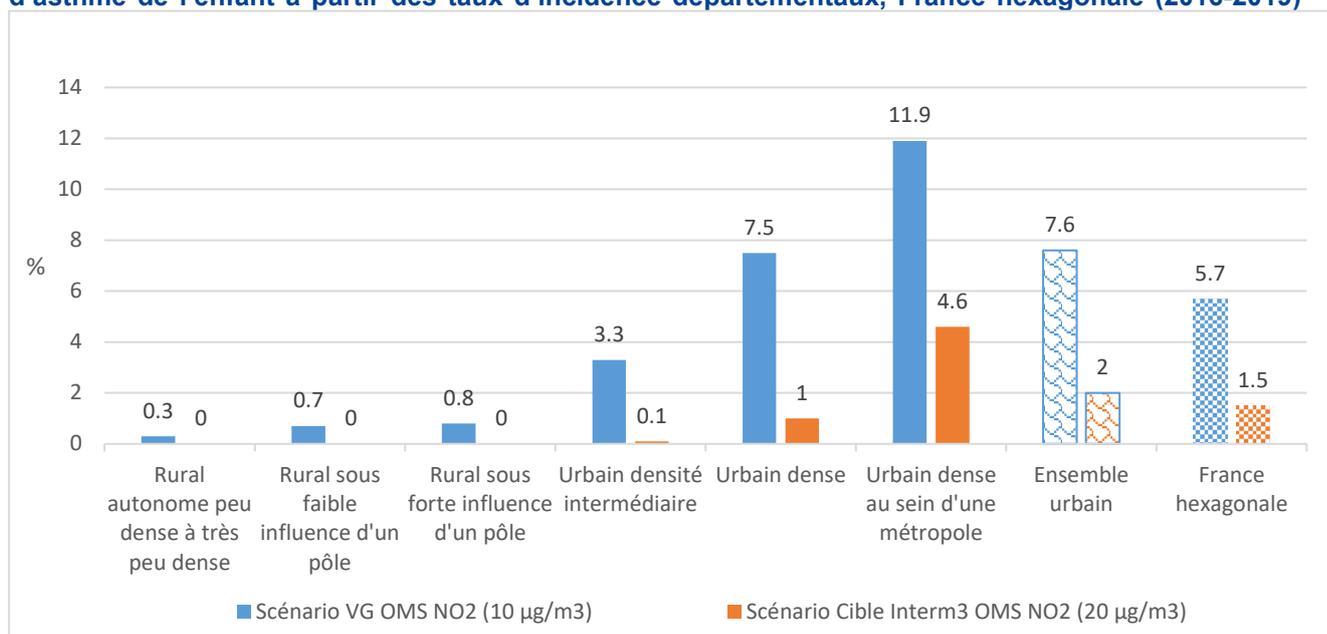
Classe de densité	Scénario Poids total des NO ₂ (1 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS NO ₂ (10 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS NO ₂ (20 µg/m ³)		
	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée*	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée**	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des NO ₂ (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des NO ₂ (%)
Rural autonome peu dense à très peu dense	346 (121 - 581)	5,8 (2,0 - 9,8)	15 (5 - 26)	0,3 (0,1 - 0,4)	4,4	0 (0 - 0)	0,0 (0,0 - 0,0)	0,01
Rural sous faible influence d'un pôle	296 (104 - 495)	6,9 (2,4 - 11,5)	31 (11 - 53)	0,7 (0,3 - 1,2)	10,5	0 (0 - 0)	0,0 (0,0 - 0,0)	0,03
Rural sous forte influence d'un pôle	361 (127 - 604)	7,2 (2,5 - 12,0)	39 (14 - 66)	0,8 (0,3 - 1,3)	10,8	0 (0 - 1)	0,0 (0,0 - 0,0)	0,14
Urbain densité intermédiaire	1 712 (610 - 2 830)	10,4 (3,7 - 17,2)	541 (189 - 913)	3,3 (1,1 - 5,5)	31,6	10 (3 - 16)	0,1 (0,0 - 0,1)	0,56
Urbain dense	1 394 (504 - 2 269)	14,4 (5,2 - 23,5)	728 (257 - 1 214)	7,5 (2,7 - 12,6)	52,2	94 (33 - 160)	1,0 (0,3 - 1,7)	6,76
Urbain dense au sein d'une métropole	2 986 (1 098 - 4 772)	18,5 (6,8 - 29,6)	1 925 (693 - 3 148)	11,9 (4,3 - 19,5)	64,5	747 (264 - 1 246)	4,6 (1,6 - 7,7)	25,01
Ensemble urbain***	6 092 (2 212 - 9 872)	14,4 (5,2 - 23,4)	3 194 (1 139 - 5 275)	7,6 (2,7 - 12,5)	52,4	851 (300 - 1 423)	2 (0,7 - 3,4)	13,96
France hexagonale	7 094 (2 565 - 11 552)	12,3 (4,5 - 20,1)	3 279 (1 169 - 5 420)	5,7 (2 - 9,4)	46,2****	851 (300 - 1 424)	1,5 (0,5 - 2,5)	12,00

* Estimation centrale et estimations basse et haute correspondant aux limites inférieure et supérieure de l'IC95% du RR.

** Pourcentage de l'estimation centrale ; *** Ensemble urbain correspond à une analyse réalisée seulement pour les zones urbaines.

**** Le poids total du NO₂ sur les nouveaux cas d'ALRI chez l'enfant représente 7 094 cas. Si la valeur de 10 µg/m³ de l'OMS était respectée, 46,2 % de ces nouveaux cas d'asthme de l'enfant (soit 3 279 nouveaux cas) seraient évités.

Figure 19 – Pourcentage de nouveaux cas d'ALRI (0-12 ans) attribuables au NO₂ parmi tous les cas d'asthme de l'enfant à partir des taux d'incidence départementaux, France hexagonale (2016-2019)



2.3.2.10. NO₂– Asthme de l'adulte

Les résultats pour les adultes suivent le même profil que pour les enfants mais les effectifs sont inférieurs.

Si l'on réduit les niveaux moyens de NO₂ jusqu'au **seuil anthropique de 1 µg/m³** en France hexagonale, en moyenne, plus de 13% des cas d'asthme de l'adulte de 18 ans à 39 ans seraient évités une année donnée, ce qui correspond à 12 372 nouveaux cas (IC95% : 1 400 ; 22 723). Si l'analyse était restreinte aux seules zones urbaines, ce bénéfice serait supérieur (presque 16%) et en zones urbaines dense au sein d'une métropole ce pourcentage pourrait atteindre plus de 20%.

Une réduction des niveaux moyens annuels de NO₂ en France hexagonale **jusqu'à la valeur guide (VG) de l'OMS de 10 µg/m³**, soit une baisse moyenne de 0,9 µg/m³ (5,7%), permettrait d'éviter en moyenne plus de 6% des nouveaux cas d'asthme de l'adulte de 18 ans à 39 ans pour une année donnée, ce qui correspond à 5 717 nouveaux cas (IC95% : 634 ; 10 724). Dans ce scénario, ce nombre représente 46% des nouveaux cas d'asthme de l'adulte attribuables au poids total du NO₂. L'analyse se limitant aux seules zones urbaines montre un impact plus important dans ces zones (plus de 8% des nouveaux cas évités, soit 53% des nouveaux cas attribuables à la pollution anthropique), et dans les zones urbaines denses au sein d'une métropole, plus de 13% des nouveaux cas seraient évités, soit presque 65% des nouveaux cas attribuables au poids total du NO₂.

Si la **valeur cible intermédiaire de l'OMS de 20 µg/m³** était respectée, soit une baisse moyenne de 0,1 µg/m³ (0,2%), en moyenne 1,7% des nouveaux cas d'asthme de l'adulte de 18 ans à 39 ans seraient évités une année donnée, ce qui correspond à 1 582 nouveaux cas (IC95% : 173 ; 3 018). Avec ce scénario, près de 13% des nouveaux cas d'asthme de l'adulte attribuables au poids total du NO₂ seraient évités. Les chiffres sont légèrement plus élevés lorsque l'analyse se limite aux zones urbaines (Tableau 25 et Figure 20).

Tableau 25 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de NO₂ pour asthme de l'adulte (18-39 ans) dans les différents scénarios, France hexagonale (2016-2019)

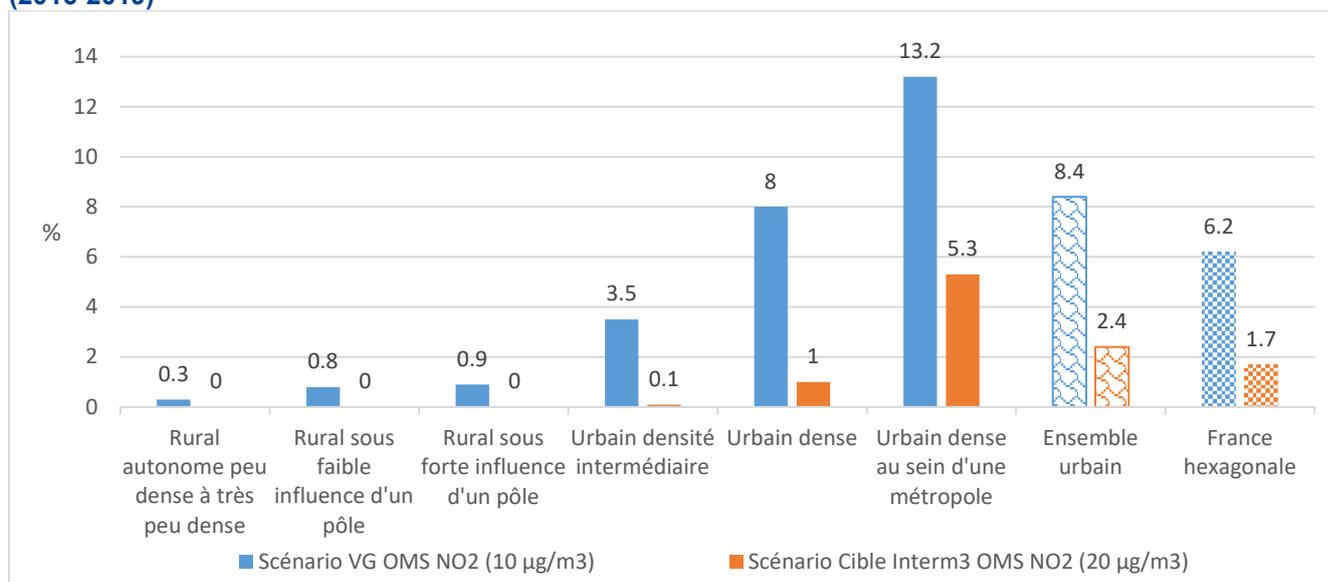
Classe de densité	Scénario Poids total des NO ₂ (1 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS NO ₂ (10 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS NO ₂ (20 µg/m ³)		
	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée*	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée**	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des NO ₂ (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des NO ₂ (%)
Rural autonome peu dense à très peu dense	661 (71 – 1 277)	6,3 (0,7 - 12,1)	29 (3 - 56)	0,3 (0,0 - 0,5)	4,3	0 (0 - 0)	0,0 (0,0 - 0,0)	0,02
Rural sous faible influence d'un pôle	540 (59 – 1 035)	7,5 (0,8 – 14,3)	55 (6 - 107)	0,8 (0,1 - 1,5)	10,1	0 (0 - 0)	0,0 (0,0 - 0,0)	0,03
Rural sous forte influence d'un pôle	680 (74 – 1 302)	8,0 (0,9 – 15,2)	77 (8 - 150)	0,9 (0,1 - 1,8)	11,3	1 (0 - 2)	0,0 (0,0 - 0,0)	0,1
Urbain densité intermédiaire	2 896 (320 – 5 443)	11,3 (1,3 – 21,3)	904 (97 – 1 755)	3,5 (0,4 - 6,9)	31,2	17 (2 - 33)	0,1 (0,0 - 0,1)	0,6
Urbain dense	2 046 (231 – 3 762)	15,6 (1,8 – 28,6)	1 052 (115 – 2 005)	8,0 (0,9 – 15,3)	51,4	128 (14 - 251)	1,0 (0,1 - 1,9)	6,3
Urbain dense au sein d'une métropole	5 549 (645 – 9 905)	20,3 (2,4 – 36,3)	3 601 (405 – 6 649)	13,2 (1,5 – 24,4)	64,9	1 436 (157 – 2 731)	5,3 (0,6 – 10,0)	26,0
Ensemble urbain***	10 491 (1 196 – 19 109)	15,9 (1,8 – 29,0)	5 557 (617 – 10 410)	8,4 (0,9 – 15,8)	53,0	1 581 (172 – 3 016)	2,4 (0,3 - 4,6)	15,1
France hexagonale	12 372 (1 400 – 22 723)	13,4 (1,5 – 24,6)	5 717 (634 – 10 724)	6,2 (0,7 – 11,6)	46,2****	1 582 (173 – 3 018)	1,7 (0,2 – 3,3)	12,8

* Estimation centrale et estimations basse et haute correspondant aux limites inférieure et supérieure de l'IC95 % du RR.

** Pourcentage de l'estimation centrale ; *** Ensemble urbain correspond à une analyse réalisée seulement pour les zones urbaines ;

**** Le poids total du NO₂ sur les nouveaux cas d'asthme de l'enfant représente 12 372 cas. Si la valeur de 10 µg/m³ de l'OMS était respectée, 46,2% de ces nouveaux cas d'asthme de l'adulte (soit 5 717 nouveaux cas) seraient évités.

Figure 20 – Pourcentage de nouveaux cas d'asthme de l'adulte (18-39 ans) attribuables au NO₂ parmi tous les cas d'asthme de l'adulte à partir des taux d'incidence départementaux, France hexagonale (2016-2019)



2.4. Discussion

2.4.1. Synthèse des résultats

Cette première étude de l'impact de l'exposition à long terme à la PA sur la morbidité en France hexagonale a été réalisée pour la période 2016-2019 en suivant les recommandations du projet EMAPEC et en tenant compte des spécificités françaises.

La période d'étude a été choisie afin d'éviter les années de pandémie de Covid-19 qui pouvaient interférer dans l'interprétation des résultats en termes de mortalité et de morbidité. Cette période correspond également à la précédente étude d'impact de la PA menée sur la mortalité (Adélaïde *et al.* 2021). Cependant, elle ne permet pas de prendre en compte les évolutions récentes des concentrations des deux polluants étudiés.

Parmi les FCR recommandées par le projet EMAPEC, l'EQIS-PA morbidité en France a été réalisée pour l'exposition aux PM_{2,5} et au NO₂ et huit indicateurs de santé, à savoir :

- au niveau respiratoire : cancer du poumon, bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO), asthme de l'enfant et de l'adulte et pneumopathies et autres infections aiguës des voies respiratoires inférieures (grippe exclue) (ALRI) ;
- au niveau cardiovasculaire : accident vasculaire cérébral (AVC), infarctus aigu du myocarde (IAM), hypertension artérielle (HTA) ;
- au niveau métabolique : diabète de type 2.

Ces maladies ont été étudiées pour des populations à risque de différentes tranches d'âge en fonction de leurs spécificités.

Le projet EMAPEC recommande également des FCR pour deux autres pathologies associées à une exposition à la PA. Ce sont les démences et les troubles du spectre autistique (TSA), qui n'ont pas été retenus car les algorithmes correspondants ont évolué et sont en cours d'actualisation par Santé publique France.

Résultats de l'EQIS-PA morbidité

Le scénario « Poids total » propose une estimation du fardeau ou poids que représente la pollution liée aux activités humaines en France. Cependant, ce scénario est appliqué à des valeurs de concentrations des polluants inférieures à la valeur minimale de l'étendue d'application des FCR recommandées par EMAPEC. Dans ce cas, nous avons fait l'hypothèse que ces fonctions sont linéaires sans seuil, et ainsi restent applicables lorsque les niveaux d'exposition tendent vers zéro. Cela conduit à de l'incertitude comparé aux scénarios se limitant au respect des valeurs OMS.

Les scénarios « VG OMS » sont proposés pour l'action. En effet, le scénario de respect de la VG OMS définit les niveaux de qualité de l'air nécessaires pour réduire les risques pour la santé de la population²².

Le scénario « cible intermédiaire de l'OMS » sert à orienter les efforts de réduction en vue d'atteindre, à terme et dans les délais, les niveaux des VG. En France, les niveaux de PA sont déjà proches de ces valeurs, en particulier dans les zones les moins peuplées. Cependant, il est dans l'intérêt de la santé publique de poursuivre les efforts pour les réduire davantage. En outre, dans les endroits où les concentrations dépassent la cible intermédiaire, ce scénario montre que toute amélioration de la qualité de l'air, même progressive, se traduira par un effet bénéfique significatif sur la santé²⁵.

²² <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/who-global-air-quality-guidelines-2,0>

L'un de nos calculs vise à montrer que le respect des VG de l'OMS permet d'éviter la majeure partie de la morbidité attribuable à la PA liée à l'activité humaine (pollution anthropique), représentée au travers du premier scénario « Poids total ».

Il convient de noter que l'impact des PM_{2,5} sur les indicateurs de santé étudiés présente toujours un net gradient rural-urbain. Ce gradient est encore plus prononcé pour le NO₂, en tant que marqueur de la PA liée aux transports routiers.

Notre étude montre que l'exposition au long cours aux PM_{2,5} et au NO₂, a un impact conséquent sur l'apparition de nouveaux cas des maladies considérées au sein des populations étudiées.

Ainsi, **l'exposition au long cours aux PM_{2,5}** a montré un impact sur la survenue de nouveaux d'asthme de l'enfant de 0 à 17 ans, et sur la survenue de nouveaux cas de certaines maladies chez l'adulte, à savoir : l'hypertension artérielle chez les 18 ans et plus, l'infarctus aigu du myocarde chez les 30 ans et plus, le cancer du poumon et l'accident vasculaire cérébral chez les 35 ans et plus, et le diabète de type 2 chez les 45 ans et plus.

Le tableau suivant résume les résultats pour l'exposition aux PM_{2,5}.

Tableau 26 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour les indicateurs de santé étudiés dans les scénarios Poids total et OMS, France hexagonale (2016-2019)

Indicateur de santé (incidence)	codes CIM-10/ATC	Classe d'âge	Scénario Poids total des PM _{2,5} (3 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS PM _{2,5} (5 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS PM _{2,5} (10 µg/m ³)		
			Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)
Cancer du poumon	CépiDC (CIM-10 C34)	35 ans et +	4 103 (2 688 - 5 599)	10,4 (6,8 - 14,1)	3 032 (1 977 - 4 160)	7,7 (5 - 10,5)	73,9*	456 (295 - 632)	1,2 (0,7 - 1,6)	11,1
BPCO	PMSI (CIM-10 J43-J44) + DCIR (ATC R03)	40 ans et +	22 242 (16 692 - 27 393)	11,4 (8,6 - 14,1)	16 445 (12 292 - 20 329)	8,5 (6,3 ; 10,5)	73,9	2 475 (1 836 - 3 082)	1,3 (0,9 - 1,6)	11,1
Asthme de l'enfant	DCIR (ATC R03)	0-17 ans	39 541 (13 870 - 61 451)	19,6 (6,9 - 30,4)	29 749 (10 249 - 47 025)	14,7 (5,1 - 23,3)	75,2	4 774 (1 588 - 7 804)	2,4 (0,8 - 3,9)	12,1
AVC	PMSI (CIM-10 I60-I64)	35 ans et +	10 016 (7 749 - 12 149)	10,3 (8 - 12,5)	7 396 (5 704 ; 8 999)	7,6 (5,9 - 9,3)	73,9	1 123 (861 ; 1 375)	1,2 (0,9 - 1,4)	11,2
IAM	PMSI (CIM-10 I21 - I22)	30 ans et +	8 145 (3 342 - 12 881)	8,5 (3,5 - 13,5)	5 982 (2 438 - 9 527)	6,3 (2,6 - 10,0)	73,5	860 (346 - 1 388)	0,9 (0,4 - 1,5)	10,6
HTA	DCIR (ATC C02-03, C07-09)	18 ans et +	78 001 (25 253 - 125 329)	10,9 (3,5 - 17,6)	57 764 (18 514 - 93 701)	8,1 (2,6 - 13,2)	74,1	8 820 (2 773 - 14 571)	1,2 (0,4 - 2,0)	11,3
Diabète type 2	DCIR (ATC A10)	45 ans et +	14 476 (4 604 - 24 475)	6,9 (2,2 - 11,6)	10 702 (3 383 - 18 211)	5,1 (1,6 - 8,6)	73,9	1 708 (533 - 2 943)	0,8 (0,3 - 1,4)	11,8

* Liste A : couples polluant-effet sur la santé pour lesquels la causalité est établie, avec des preuves solides provenant d'une méta-analyse ; et quantification fiable des effets possibles dans une EQIS ;

** Liste B+ : couples polluant-effet sur la santé pour lesquels la causalité est établie, avec des preuves modérées provenant d'une méta-analyse OU une évidence suggestive de causalité et des preuves solides provenant d'une méta-analyse ; l'EQIS est possible, mais la précision de la FCR est plus incertaine que pour les couples de la liste A.

Exemple de grille de lecture du tableau : concernant l'impact des **PM_{2,5}** sur le développement de nouveaux cas d'**asthme de l'enfant**, avec une réduction des niveaux moyens de **PM_{2,5}** jusqu'au seuil anthropique de **3 µg/m³**, le nombre potentiel de nouveaux cas évités une année donnée est estimé à près de 40 000 (soit 20% des nouveaux cas d'asthme de l'enfant en France sur un an). Le respect de la valeur guide de l'OMS, soit une baisse moyenne de **4,6 µg/m³** (47,2%), permettrait d'éviter 75% de ces cas (près de 30 000 cas, soit une moyenne de près de 15% des nouveaux cas d'asthme évités). Le respect de la valeur cible intermédiaire 4 de l'OMS de **10 µg/m³**, soit une baisse moyenne de **0,3 µg/m³** (2,4%), permettrait d'éviter 12% de ces cas.

Par ailleurs, si l'on s'intéresse au **NO₂** en tant qu'**indicateur de pollution liée aux transports routiers**, il a également un impact sur la survenue de nouveaux cas d'asthme de l'enfant de 0 à 17 ans. De plus, l'exposition au long cours au **NO₂** a un impact sur la survenue des ALRI chez l'enfant de 0 à 12 ans, et sur la survenue de nouveaux cas d'asthme de l'adulte de 18 à 39 ans.

Le Tableau 27 résume les résultats pour l'exposition au **NO₂**.

Tableau 27 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de NO₂ pour les indicateurs de santé étudiés dans les scénarios Poids total et OMS, France hexagonale (2016-2019)

Indicateur de santé (incidence)		Codes CIM-10 ATC	Classe d'âge	Scénario Poids total NO ₂ (1 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS NO ₂ (10 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS NO ₂ (20 µg/m ³)		
				Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)
Asthme adulte	Ensemble urbain	DCIR (ATC R03)	18-39 ans	10 491 (1 196 – 19 109)	15,9 (1,8 – 29,0)	5 557 (617 – 10 410)	8,4 (0,9 – 15,8)	53,0	1 581 (172 – 3 016)	2,4 (0,3 - 4,6)	15,1
	France hexagonale			12 372 (1 400 – 22 723)	13,4 (1,5 – 24,6)	5 717 (634 – 10 724)	6,2 (0,7 – 11,6)	46,2****	1 582 (173 – 3 018)	1,7 (0,2 – 3,3)	12,8
Asthme de l'enfant	Ensemble urbain	DCIR (ATC R03)	0-17 ans	21 485 (11 516 – 34 876)	15,5 (8,3 - 25,2)	11 109 (5 869 – 18 415)	8,0 (4,2 - 13,3)	51,7	2 925 (1 531 – 4 913)	2,1 (1,1 - 3,6)	13,6
	France hexagonale			26 087 (13 921 – 42 633)	12,9 (6,9 - 21,1)	11 498 (6 071 – 19 082)	5,7 (3,0 - 9,4)	44,1****	2 927 (1 532 – 4 917)	1,4 (0,8 - 2,4)	11,2
ALRI	Ensemble urbain	PMSI (CIM-10 J12–J18, J20–J22)	0 – 12 ans	6 092 (2 212 – 9 872)	14,4 (5,2 - 23,4)	3 194 (1 139 – 5 275)	7,6 (2,7 - 12,5)	52,4	851 (300 – 1 423)	2 (0,7 - 3,4)	14,0
	France hexagonale			7 094 (2 565 – 11 552)	12,3 (4,5 - 20,1)	3 279 (1 169 – 5 420)	5,7 (2,0 - 9,4)	46,2****	851 (300 – 1 424)	1,5 (0,5 - 2,5)	12,0

Le respect de la **VG de l'OMS** de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le NO_2 permettrait d'éviter en moyenne une proportion de cas totale plus faible que pour les $\text{PM}_{2,5}$. Ceci est dû au fait que les niveaux de NO_2 sont déjà inférieurs aux objectifs de qualité de l'air dans une partie du pays, et le gain pour la santé n'est observé que dans les grandes zones urbaines, où les niveaux de NO_2 sont plus élevés. Le respect de la VG de l'OMS dans ces zones, soit une baisse moyenne de $4,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (27,5%), permettrait d'éviter 52% des cas (plus de 11 100 cas), et le respect de la valeur cible intermédiaire 4 de l'OMS de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, soit une baisse moyenne de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1,8%), permettrait d'éviter presque 14% de ces cas (presque 3 000 cas).

2.4.2. Interprétation des résultats

Les résultats des EQIS-PA fournissent **des ordres de grandeur** en raison principalement des incertitudes liées à la construction des indicateurs de santé et de qualité de l'air ainsi qu'à celles entourant les relations concentration-risque (pour plus d'information voir section 2.4.3.). Ces incertitudes ne remettent pas en cause le fait que la pollution de l'air a un impact avéré sur la santé, et que toute action améliorant la qualité de l'air se traduirait par des bénéfices pour la santé.

Si les polluants étudiés peuvent avoir une toxicité propre, **ils sont avant tout des indicateurs d'un mélange complexe dont les effets ne sont pas indépendants entre eux**. Ainsi, pour rappel, dans les EQIS-PA, lorsque l'impact de la PA dans le développement d'une pathologie donnée peut être estimé grâce à l'existence de plusieurs FCR mettant en relation ladite pathologie avec différents polluants traceurs, les résultats de ces EQIS ne doivent jamais être additionnés. En effet, les analyses originales dans les revues systématiques ne le recommandent pas, les indicateurs de pollution choisis représentent tous le même mélange qu'est la pollution atmosphérique, et parce que leurs effets estimés sur la santé peuvent se recouper. Par exemple, pour l'asthme chez l'enfant, l'EQIS-PA a été réalisée pour les $\text{PM}_{2,5}$ et le NO_2 séparément. À ce jour, ni les revues systématiques analysées dans le projet EMAPEC, ni les études les plus récentes portant sur la relation entre l'asthme chez les enfants et les deux polluants, ne fournissent de preuves permettant à EMAPEC de formuler une recommandation claire en faveur d'une EQIS-PA de l'exposition conjointe aux deux polluants. Dans ce cas, EMAPEC recommande d'éviter le cumul des impacts du mélange de polluants sur l'incidence de l'asthme et de considérer le plus grand des effets estimés des polluants individuels comme l'effet combiné. Dans notre cas il s'agit des $\text{PM}_{2,5}$ qui constituent l'indicateur d'exposition à la PA pour lequel les preuves scientifiques sont les plus solides. De plus, une diminution de l'ensemble des polluants constituant ce mélange est donc nécessaire pour obtenir plus de bénéfices pour la santé.

À la suite d'une exposition à la pollution même de courte durée, certaines personnes vont déclencher des symptômes qui peuvent être liés à une pathologie chronique préexistante (ex. crise d'asthme...). Ces **effets à court terme** n'ont pas été directement quantifiés dans notre étude. Il est important de garder en tête que ces impacts à court terme touchent moins de personnes que les effets à long terme. De plus, les pathologies chroniques peuvent fragiliser ces personnes et provoquer des symptômes aigus induits par une exposition à court terme à la pollution.

Il faut noter également que les **résultats peuvent être plus incertains dans les communes moins peuplées** (plus faibles effectifs et plus grande variabilité temporelle) et là où les niveaux de PA sont inférieurs à la valeur minimale de l'étendue d'application des concentrations des FCR utilisées.

Dans l'interprétation des résultats de l'EQIS sur la morbidité, il faut tenir en compte que pour la plupart des maladies complexes, la morbidité se développe en raison de l'interaction de plusieurs facteurs de risque. Ce **modèle multi-causal** implique qu'il suffit d'éliminer ou de supprimer l'un des facteurs contribuant à la maladie pour la prévenir. Les EQIS sont généralement réalisées pour un facteur de risque à la fois, en ignorant les effets potentiels des interactions entre les facteurs contribuant à la maladie. Si l'on additionne les impacts calculés séparément pour chaque facteur de risque potentiel d'une maladie spécifique, le total peut dépasser 100% (plus que le nombre total de cas) puisque les cas attribuables aux individus présentant plus d'un facteur contributif peuvent avoir été comptés plus d'une fois (Perez *et al.* 2013). Nous présentons nos résultats sur un seul facteur de risque, tous les

autres facteurs de risque restant inchangés (approche contrefactuelle). D'autres approches sont possibles, elles sont présentées dans le volet économique.

Enfin, en termes de santé, les résultats des EQIS-PA traitées ici ne reflètent qu'une partie de l'impact sur la santé de la PA, il s'agit **d'impacts a minima**. En effet, les incidences de maladies ont été calculées par des approximations (des nouveaux cas ayant nécessité une hospitalisation ou un traitement médicamenteux). Cependant, l'impact sur la santé de la pollution peut engendrer d'autres événements de santé ne nécessitant pas de traitement médicamenteux, ni de recours aux soins (effets sub-cliniques, symptômes irritatifs respiratoires, etc.) ou nécessitant un recours en consultations extrahospitalières, mais touchant une proportion beaucoup plus importante de la population. De plus, il n'existe pas actuellement de relations concentration-risque pour tous les polluants et tous les effets connus de ces polluants.

Ci-après une analyse de différentes sources d'incertitudes identifiées dans notre étude.

2.4.3. Incertitudes

Incertaines liées à la quantification de l'exposition

La résolution des données de concentrations est de 4x4 km ou 2x2 km suivant les années pour les particules et de 1x1 km pour le NO₂. De telles résolutions permettent de bien représenter les concentrations de fond urbain (c'est-à-dire hors proximité immédiate du trafic) et de fond rural mais pas les concentrations mesurées à proximité du trafic. Cette limite concerne surtout le NO₂ qui décroît rapidement dès que l'on s'éloigne des zones d'émissions. De plus, pour le NO₂, l'ajout des émissions en dérive externe dans le krigeage permet de resserrer les concentrations à proximité des grands axes routiers et des zones urbaines, et ainsi d'avoir des valeurs plus faibles en zone rurales, ce qui correspond mieux aux observations.

La modélisation à cette échelle spatiale permet de bien représenter la pollution dite « de fond ». À noter que cette notion correspond à celle qui est reprise dans les directives Européennes sur la Surveillance de la Qualité de l'air où les stations de fond sont conçues pour documenter l'exposition des populations. Alors que les stations de proximité (trafic ou industriel) sont plutôt conçues pour surveiller l'évolution d'une source donnée.

Les incertitudes dans la quantification de l'exposition contribuent aux incertitudes dans l'EQIS. L'évaluation de l'exposition à la pollution de l'air ambiant repose ici sur des modèles de qualité de l'air pour lesquels les incertitudes peuvent être rattachées soit aux données d'entrée, soit au modèle en lui-même.

Dans le présent rapport, nous utilisons les estimations cartographiques produites par l'Ineris (Real *et al.* 2022), également utilisées pour le bilan annuel de la qualité de l'air du ministère en charge de l'écologie.

Les principales données d'entrée sont les données météorologiques (température, vent, précipitation...) influençant le transport et la transformation des polluants, et les données d'émissions de polluants et de leurs précurseurs. Si les incertitudes météorologiques peuvent être fortes pour des prévisions, nous avons ici utilisé des données d'analyse rétrospectives et donc corrigés avec des observations, minimisant de la sorte ces incertitudes.

Le modèle de chimie-transport lui-même comporte des incertitudes liées 1) à sa capacité à bien reproduire les mécanismes physico-chimiques à l'œuvre dans l'atmosphère et 2) à sa représentativité spatiale. La connaissance des mécanismes physico-chimiques est imparfaite, et leur représentation dans les modèles numériques l'est tout autant. Les modèles déployés ici ont une résolution spatiale de quelques kilomètres, ce qui fait que l'exposition des populations ne peut être calculée que pour la pollution de fond. Ces incertitudes sont réduites grâce à l'utilisation de données combinant simulation et données mesurées par les stations. Pour les données historiques, les concentrations ont été

évaluées par validation croisée aux stations avec des scores satisfaisants (corrélation entre 0,77 et 0,94, biais inférieur à 20%). Ces corrections sont toutefois limitées par la disponibilité de stations de mesure qui sont moins denses en milieu montagneux, mais heureusement plus souvent disponibles dans les zones fortement peuplées.

Dans notre étude, nos estimations reposent sur une combinaison optimale entre les mesures de la pollution de l'air observées à des stations de surveillance de référence dispersées sur le territoire, et des estimations modélisées disponibles partout sur la France.

Il existe d'autres méthodes similaires d'assimilation de données ou de fusion de données de pollution de l'air disponibles pour la France dans le cadre d'initiatives européennes ou mondiales de cartographie de l'exposition. Quatre d'entre elles ont été comparées dans un article de (Ciarelli et al. 2019) : les réanalyses du Copernicus Atmosphere Monitoring Service (Marécal et al. 2015), l'agence européenne de l'environnement (Horálek et al. 2016), le Global Burden of Disease (Brauer et al. 2016) et le projet Eurodelta (Colette et al. 2017). L'écart type entre toutes ces estimations exprimées en termes relatifs était d'environ 18% en remontant à l'année 1990, mais pour une année plus récente (2015), il a été réduit à 11% (Ciarelli et al. 2019), tableaux supplémentaires S2 et S4). La réduction au fil du temps des différences entre les modèles d'exposition est due à la meilleure qualité des données d'entrée, y compris des mesures d'observation plus denses disponibles pour le processus de fusion et d'assimilation des données.

Cette inter-comparaison n'incluait pas les cartes de référence pour la France produites par l'Ineris, et il serait pertinent de réviser cette inter-comparaison, en incluant également d'autres sources d'information sur l'exposition telles que les modèles de régression d'occupation des sols (Land Use Regression Models) à haute résolution, et ne se limitant pas à la différence entre les modèles mais en tenant compte des statistiques de validation croisée hors échantillon.

Pour le calcul du scénario sans PM_{2,5} anthropiques, compte tenu des incertitudes associées à la modélisation, nous avons préféré borner cette valeur à 3 µg/m³. À noter cependant certaines limites puisque cette part naturelle est estimée dans les conditions actuelles, mais que sans pollution anthropique, certaines réactions qui créent ou détruisent des polluants secondaires biogéniques n'auraient plus lieu et le résultat pourrait être différent. De plus, nous utilisons ici une valeur moyenne sur la France alors que la modélisation montre de forts gradients spatiaux.

Incertitudes liées aux estimations des incidences des pathologies

Pour rappel, l'EQIS-PA a porté sur les effets de l'exposition à long terme à la pollution sur l'incidence de pathologies (survenue de nouveaux cas de maladies) et les pathologies retenues ont été étudiées pour des populations à risque de différentes tranches d'âge en fonction de leurs spécificités.

La plupart du temps, les nombres de cas incidents ne sont pas disponibles directement à partir de cohortes ou registres. Ils ont donc dû être estimés à partir de données disponibles dans des bases médico-administratives, telles que la première hospitalisation ou les remboursements de médicaments traitant la pathologie étudiée.

Ces bases de données présentent de nombreux avantages : elles permettent de suivre l'ensemble de la population française, d'avoir des données homogènes pour tout le territoire et d'avoir un historique de données important.

Cependant l'usage de ces bases présente quelques limites, sources d'incertitude. En France, le diagnostic posé par le médecin traitant n'est pas disponible dans une base de données, seuls les médicaments délivrés et remboursés sont connus. De plus, certains médicaments peuvent être prescrits pour différentes pathologies. Pour remédier à ces limites, des critères de sélection des médicaments ont été définis afin d'améliorer la spécificité de l'indicateur.

D'autres indicateurs ont été construits à partir de données d'hospitalisation issues du PMSI. Pour cette base, les diagnostics posés par les médecins sont disponibles mais cela ne représente qu'une part de tous les cas incidents.

Globalement le manque de sensibilité ou de spécificité des indicateurs d'incidence utilisés au regard de l'incidence réelle des maladies étudiées a pu conduire à une certaine sous-estimation ou surestimation de l'incidence, et donc de l'impact sur la santé, qu'il est difficile de quantifier.

Les incertitudes liées aux estimations de ces incidences des pathologies étudiées ont été particulièrement approfondies pour cette EQIS-PA sur la morbidité. Les modalités de construction des indicateurs de santé et leurs incertitudes sont décrites en détail en Annexe 2.

Plus particulièrement, l'estimation de l'incidence de la **BPCO** et de **l'asthme** chez l'adulte repose essentiellement sur la délivrance de médicaments (en plus des hospitalisations pour la BPCO). Or, il n'existe pas de traitement spécifique pour ces deux pathologies, les médicaments utilisés (médicaments pour syndromes obstructifs des voies aériennes) étant également prescrits pour plusieurs maladies respiratoires chroniques (l'asthme et BPCO, notamment) mais aussi pour des pathologies aiguës. Aussi, pour améliorer la spécificité de ces deux indicateurs, des critères de sélection de médicaments et d'âge ont été appliqués.

Premièrement, pour ces deux indicateurs, nous avons sélectionné les traitements au long cours (≥ 3 délivrances dans l'année). Toutefois, cela réduit la sensibilité de l'indicateur, la BPCO et l'asthme les moins sévères, qui ont comme seul traitement la prise d'un bronchodilatateur à la demande, ne sont pas prises en compte. De même, les cas non diagnostiqués ne peuvent être identifiés, pour la BPCO, cela représente environ 80% des cas (Lamprecht *et al.* 2015).

Deuxièmement, nous avons restreint l'indicateur BPCO aux personnes de 40 ans et plus, et de l'asthme aux 18-39 ans afin d'éviter un possible double compte entre ces deux pathologies (la BPCO étant une maladie peu fréquente avant l'âge de 40 ans). Ce choix, et pas celui proposé par EMAPEC (30 ans et plus) a pu conduire à une légère sous-estimation de l'impact mais évite de confondre ces deux pathologies.

Troisièmement, pour la définition d'un cas de BPCO, nous avons restreint la liste des médicaments aux traitements par anticholinergiques de longue durée d'action. Cette stratégie permet d'améliorer la spécificité de l'algorithme de définition des cas mais inclura, malgré tout, quelques asthmes sévères. Les cas incidents ont également été identifiés à partir des hospitalisations en restreignant les diagnostics proposés par EMAPEC aux codes J43 et J44. En effet, les codes J41 (Bronchite chronique simple et mucopurulente) et J42 (Bronchite chronique, sans précision) n'ont pas été retenus car il s'agit de bronchites chroniques non obstructives et la bronchite chronique non obstructive (toux et expectoration chroniques) n'est pas synonyme de BPCO, même si avant de devenir une BPCO, la personne passe nécessairement par le stade bronchite chronique.

Enfin, le recul de cinq ans pris en compte pour cibler les cas incidents d'asthme chez l'adulte ne permet pas de distinguer les cas incidents des réactivations de l'asthme après rémission. Par exemple, un asthme déclaré dans l'enfance peut ne plus nécessiter de traitement pendant une longue période et réapparaître plus tard à l'âge adulte. Ces cas ont alors été considérés comme incidents.

Concernant **l'asthme de l'enfant** chez les 0-17 ans, afin d'améliorer la spécificité de l'indicateur, comme pour les adultes, il a été proposé de sélectionner la mise en route d'un traitement au long cours (au moins 3 délivrances dans l'année), mais cette amélioration de la spécificité se fait au détriment de la sensibilité (les asthmes intermittents avec prise d'un bronchodilatateur à la demande ne sont pas pris en compte). Notre algorithme de définition des cas sélectionne les enfants traités pour des symptômes respiratoires récurrents (*recurrent wheeze*) de la petite enfance dont seulement un tiers environ évolue vers un asthme. Par ailleurs, il n'est pas exclu d'avoir considéré, à tort, certains cas comme incidents suite à une mise sous traitement au long cours alors qu'ils bénéficiaient jusqu'à présent d'un traitement à la demande.

Pour ce qui est des **ALRI**, toutes les hospitalisations d'enfants entre 0 et 12 ans sont considérées comme des cas incidents compte tenu de la nature aiguë de la pathologie. En effet, étant donné le caractère infectieux, on considère que toute nouvelle infection survient indépendamment d'une autre infection qui aurait pu survenir au préalable chez un même individu, même en cas d'infections répétées (source HEI Panel on the Health Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution 2022).

Contrairement à d'autres pathologies comme la BPCO ou l'HTA, la majorité des personnes faisant un **AVC ou un IAM** sont hospitalisées. Un cas incident de chacune de ces deux maladies est une personne ayant été hospitalisée avec le code diagnostique identifié au cours de la période d'étude et n'ayant jamais été hospitalisée pour ces codes diagnostiques durant les 10 années antérieures (depuis 2006 : recul le plus important de disponibilité de la base dans le SNDS). Si pour un patient, plusieurs hospitalisations pour l'une de ces deux maladies ont été identifiées au cours de la période d'étude, seule la date de la première hospitalisation a été prise en compte. Cependant, si la personne a été hospitalisée avant 2006, il n'était pas possible de savoir si l'hospitalisation pour AVC ou IAM était la première ou bien s'il s'agissait d'une récurrence. Enfin, dans certains cas, les AVC ou les IAM peuvent ne pas avoir été hospitalisés. En effet, entre 1 à 3% des personnes faisant un AVC décèdent avant leur arrivée à l'hôpital, pour l'IAM ce chiffre est probablement plus important. De plus, les résidents d'Ehpad peuvent, dans certaines circonstances, ne pas être hospitalisés en cas d'AVC. Par ailleurs, le choix des 35 ans et plus pour l'AVC, et pas celui proposé par EMAPEC (30 ans et plus) peut conduire à une légère sous-estimation de l'impact ; pour l'IAM la tranche d'âge retenue est celle recommandée par EMAPEC.

Concernant l'**HTA**, un diagnostic d'HTA traitée a été porté chez un adulte de 18 ans et plus. Le choix de retenir l'âge de 18 ans et plus, et pas celui proposé par EMAPEC (30 ans et plus), est lié au fait que, selon l'étude Esteban (Perrine *et al.* 2018), 6,3% des 18-35 ans sont hypertendus, ce qui représente environ 600 000 personnes, si on prend l'estimation de 9,4 millions de personnes hypertendues traitées en France, ce qui n'est pas négligeable. Ce choix peut conduire à une légère surestimation de l'impact. Cependant, l'incidence de l'hypertension à partir des médicaments est probablement sous-estimée car dans l'étude Esteban seulement 47,3% des personnes détectées hypertendues dans l'étude étaient traitées par un médicament anti-hypertenseur. Aussi, pour limiter cette sous-estimation et être au plus proche de l'étude source, il a été décidé de garder toutes les HTA incluant les HTA compliquées par une comorbidité.

La question d'un **recoupement potentiel** de l'impact de la PA sur l'hypertension artérielle et de son impact sur les incidences annuelles d'IAM et d'AVC, indicateurs de santé également étudiés dans ce travail, s'est posée. En effet, certains des résultats de morbidité pris en compte dans l'EQIS-PA peuvent être considérés comme des antécédents ou des précurseurs d'autres maladies impliquées dans l'EQIS-PA. L'HTA, est un facteur de risque pour plusieurs maladies telles que l'infarctus du myocarde ou l'AVC, ou celui du diabète, qui est également un facteur de risque pour l'infarctus du myocarde ou l'AVC. Il est clair que ces transitions d'une maladie à une autre, peuvent être facilitées par l'exposition aux polluants atmosphériques. En d'autres termes, l'exposition à la PA peut rendre, par exemple, les personnes souffrant d'hypertension plus susceptibles de développer un AVC que les personnes ne souffrant pas d'hypertension. Les effets de la PA sur ces transitions font l'objet d'études, mais la littérature est encore peu abondante. Par souci de clarté, bien que les maladies préexistantes puissent augmenter le risque de nouveaux cas d'une affection donnée, il est clair que les calculs de l'impact de la PA sur l'incidence de ces affections au cours d'une année donnée peuvent être effectués car ces affections sont considérées comme des événements indépendants. Ainsi, si l'hypertension est un facteur de risque d'autres affections, elle reste néanmoins une entité nosologique indépendante à moyen terme : l'hypertension diagnostiquée une année donnée ne conduit que rarement à un IAM, ou à un AVC au cours de la même année, même s'il se peut que la complication (IAM ou AVC) soit à l'origine du diagnostic HTA. Concernant l'HTA associée à un diabète, il existe certains facteurs de risque communs comme l'obésité et la sédentarité, c'est pourquoi il n'est pas apparu pertinent d'exclure les HTA associées à un diabète ; a contrario, les dégâts vasculaires causés par le diabète peuvent conduire en aval à une hypertension. De futures études nous renseigneront sur la probabilité que la PA facilite le passage d'une affection à une autre. Bien entendu, les évaluations économiques doivent tenir compte de ces situations interdépendantes, car le coût de la maladie pour le diabète, par

exemple, est plus élevé si l'on considère qu'il s'agit d'un facteur de risque pour d'autres événements cardiovasculaires graves (voir volume 2 pour plus d'informations).

Enfin, pour l'incidence de **diabète de type 2** chez les 45 ans et plus, la définition de cas retenue porte sur le diabète traité pharmacologiquement selon des critères issus de l'étude de Fuentes *et al.* (Fuentes *et al.* 2023). L'incidence ainsi estimée est sous-estimée car n'inclut pas les personnes ayant un diabète de type 2 pris en charge par mesures hygiéno-diététiques uniquement. D'après l'étude Esteban (2014-2016), la proportion de personnes atteintes d'un diabète de type 2 non traitées pharmacologiquement est estimée à 21 % parmi les 18-74 ans (Lailier *et al.* 2020). Par ailleurs, cette approche ne permet pas d'identifier spécifiquement les cas de diabète de type 2. Néanmoins, le diabète de type 2 représente plus de 92% de l'ensemble des cas de diabète traité pharmacologiquement tous âges confondus. En France, l'incidence du diabète de type 2 est très faible chez les enfants et jeunes adultes et augmente fortement avec l'âge (Fuentes *et al.* 2023). Le choix des 45 ans et plus, et pas celui proposé par EMAPEC (30 ans et plus), peut conduire à une sous-estimation du nombre de cas estimés (cf. Annexe 3.2). Cependant selon les données d'Entred 3 (non publiées), moins de 20% des personnes atteintes d'un diabète de type 2 ont un âge au diagnostic (incidence) inférieur à 45 ans et pour 17% entre 30 et 45 ans. En revanche, 32% des personnes atteintes d'un diabète de type 1 ont un âge au diagnostic entre 30 et 45 ans. De plus, la définition de cas basée sur les remboursements de traitements antidiabétiques inclut également des cas de diabète gestationnel chez des femmes âgées de 30 à 45 ans. La restriction de la population d'étude aux personnes âgées de 45 ans et plus permet donc d'être plus spécifique du diabète de type 2. Néanmoins, une analyse de sensibilité a été conduite dans la population des personnes âgées de 30 ans et plus. Les résultats de cette analyse de sensibilité montrent un impact à peu près équivalent si la population d'étude est étendue à 30 ans et plus, mais dans notre logique d'évaluer un impact à minima nous avons préféré être plus spécifiques. Par ailleurs, il a été décidé de garder l'ensemble des cas de diabète, y compris ceux compliqués par une comorbidité.

Par ailleurs, des **analyses de sensibilité** dans la construction des indicateurs de santé ont été réalisées (Annexe 3).

Pour le **cancer du poumon** chez les 35 ans et plus, deux choix étaient possibles pour construire l'indicateur d'incidence : utiliser les taux départementaux et les appliquer à l'échelle de la commune (choix retenu en analyse principale) ou, en raison du taux de létalité important de ce type de cancer, utiliser le taux de mortalité corrigé par le taux de survie au niveau national (en analyse de sensibilité). Les impacts estimés par les deux méthodes sont quasiment identiques à l'échelle de la France hexagonale (Annexe 3, section 3.1).

Pour les **AVC** chez les 35 ans et plus, il était possible de garder tous les cas incidents, codes Insee avec ou sans correspondance avec les codes géographiques PMSI (en analyse de sensibilité), ou restreindre l'estimation de l'incidence aux cas avec correspondance entre codes Insee et codes géographiques PMSI. Dans ce dernier cas, on perd environ 7% des cas (étudiants, personnes âgées, gens du voyage, déménagement dans l'année...) mais cela permet de s'assurer que sont bien comptabilisés les cas correspondant à une commune donnée et ainsi de réduire les erreurs de classification de l'exposition, cette dernière option a été gardée en analyse principale. Les impacts estimés dans l'analyse principale sont légèrement inférieurs à ceux de l'analyse de sensibilité (Annexe 3, section 3.2).

Enfin l'analyse de sensibilité portant sur le **diabète de type 2** sur les 30 ans et plus au lieu des 45 ans et plus fournit des résultats d'impacts un peu plus élevés (Annexe 3, section 3.3).

Une autre analyse de sensibilité a été réalisée pour la prise en compte des **faibles effectifs** (Annexe 3, section 3.4). Les incidences (hors cancer) ont été estimées à la commune. Tout d'abord, pour des raisons de confidentialité, les données communales, lorsque le nombre de cas est inférieur à 5, ne peuvent pas être présentées. Dans le cadre de cette EQIS-PA, ces données ne sont mobilisées qu'à une étape du calcul et les résultats présentés sont agrégés à l'échelle régionale ou bien par grandes typologies de communes. Mais surtout, pour les plus petites communes les fluctuations annuelles de l'incidence d'une pathologie peuvent être importantes et non représentatives

une année donnée de la tendance générale, ce qui peut contribuer à sous-estimer ou surestimer une incidence. Afin de pallier ce phénomène, en partie, les indicateurs ont été moyennés sur une période de quatre ans, lorsque cela était possible. Malgré ces précautions, la distribution de l'incidence au niveau communal peut laisser encore apparaître des valeurs extrêmes de taux d'incidence dans certaines petites communes susceptibles d'influencer les résultats de l'EQIS. Aussi, une analyse de sensibilité a été réalisée sur la région Île-de-France pour tester la robustesse des résultats malgré les fluctuations dues aux petits nombres observés dans les petites municipalités. Pour ce faire, une stratégie d'estimation de l'incidence des pathologies incluant un lissage pour les plus petites communes (< 5 000 habitants) a été appliquée. Ainsi, pour ces communes, l'indicateur a été extrait pour un regroupement de communes au sein d'un même Établissement public de coopération intercommunale (EPCI), ou au sein d'un Établissement public territorial (EPT). Cette analyse est détaillée en Annexe 3. Elle a révélé qu'en effet, les taux bruts à la commune montraient une distribution avec des valeurs extrêmes particulièrement élevées ou faibles, et que le lissage appliqué permettait de resserrer la distribution. Toutefois, sur le territoire test dans son ensemble, les résultats de l'EQIS ne montrent aucune différence selon les deux approches d'estimation de l'incidence. Cette analyse a permis de tester la robustesse des résultats malgré les fluctuations dues aux petits effectifs observés pour les petites communes.

Au total, les indicateurs de santé construits dans notre étude doivent être considérés comme étant, au vu des données disponibles en France, **la meilleure estimation possible des incidences** de cas des maladies considérées ici.

Incertitudes liées au choix des FCR

Le choix des fonctions concentration-risque est déterminant comme nous l'avons montré avec l'EQIS-PA sur la mortalité publiée en 2021 (Medina *et al.* 2021). Il doit s'appuyer sur une analyse approfondie des revues systématiques de la littérature épidémiologique. Pour la morbidité, ce choix est encore plus important que pour la mortalité. En effet, les FCR dépendent fortement de la manière dont les maladies sont identifiées dans les études-source. Si ces identifications sont basées sur le recours aux soins de santé, les différences dans l'offre de soins ou les habitudes d'utilisation des soins entre les pays peuvent influencer les FCR et limiter leur transposabilité dans un autre pays.

Les FCR recommandées par EMAPEC reposent sur une évidence scientifique mondiale et sont proposées pour des applications mondiales (c'est-à-dire dans toutes les régions du monde). Peu de revues systématiques fournissant les FCR ont analysé leurs différences régionales, et la plupart de celles qui l'ont fait n'ont pas trouvé de différences significatives entre les résultats spécifiques à chaque région. Le projet EMAPEC recommande que lorsqu'une FCR locale (ou régionale) est disponible, elle puisse être utilisée dans une analyse de sensibilité en plus de l'EQIS basée sur une FCR globale. Une telle analyse de sensibilité doit discuter de l'incertitude liée aux FCR et prendre en compte toute caractéristique spécifique de l'étude locale susceptible d'affecter la FCR. Dans notre étude, nous n'avons pas utilisé d'autres FCR que celles recommandées par EMAPEC. Elles sont basées sur une stratégie rigoureuse, résumée en Annexe 1a.

Temporalité et persistance des effets

Toutes les FCR utilisées concernent l'exposition à long terme. Il n'est donc pas surprenant que les effets sur la santé ne suivent pas nécessairement immédiatement une modification de l'exposition. Pour les calculs du fardeau, qui donnent un aperçu approximatif du poids pour la santé que représentent les concentrations actuelles, l'effet des décalages n'a pas été pris en compte pour des raisons pratiques. Pour d'autres calculs, les estimations d'impact de l'effet de l'évolution des concentrations dans le temps, il est prévu d'élaborer des recommandations sur ces délais dans le cadre d'une proposition d'extension du projet EMAPEC. Entre-temps, si cette notion de délai est utilisée, il convient de justifier le choix de ce délai. Il peut s'agir d'une analogie avec le raisonnement utilisé pour le délai proposé par l'US EPA pour la mortalité (US-EPA 2021), d'une analogie avec la littérature sur le sevrage tabagique (Walton 2010) ou d'un raisonnement lié au mécanisme de la maladie (par exemple, l'asthme peut entrer en rémission, ce qui n'est pas le cas pour la plupart d'autres maladies chroniques).

Analyse de la valeur de l'information

Enfin, les incertitudes de l'EQIS-PA ont été mises en évidence et certaines ont été explorées à l'aide d'analyses de sensibilité. Pour de futurs travaux, l'analyse de la valeur de l'information peut s'avérer très utile. Il s'agit d'une approche économique qui examine si les ressources consacrées à la résolution des incertitudes par des travaux complémentaires sont justifiées par rapport aux ressources économisées/les risques évités grâce à la connaissance des nouvelles informations (Tuffaha, Gordon, and Scuffham 2014).

3. PRISE EN COMPTE DES INÉGALITÉS SOCIALES DE SANTÉ

De fortes **inégalités de santé** sont rapportées dès l'enfance et se poursuivent tout au long de la vie. Les inégalités de santé sont des « différences systématiques, évitables et importantes dans le domaine de la santé » observées entre des groupes sociaux²³. Elles résultent d'une inégalité de distribution d'une multitude de déterminants sociaux qui influent sur les conditions de vie et de travail et dépendent d'autres déterminants plus globaux, telles que la discrimination, les structures politiques, culturelles, économiques et sociales ; et l'environnement. Ainsi, depuis quelques années, les expositions environnementales sont rapportées comme pouvant jouer un rôle dans les inégalités sociales de santé (ISS) suivant deux mécanismes principaux pouvant se cumuler, un différentiel d'exposition²⁴ et/ou un différentiel de vulnérabilité²⁵ (Unicef 2021). C'est précisément dans ce contexte, que la question de la contribution de ces expositions environnementales aux ISS s'est posée et constitue un enjeu fort de santé publique. À titre exploratoire, les ISS ont donc également été prises en compte dans l'EQIS morbidité²⁶.

3.1. Objectif

Afin de prendre en compte l'existence d'ISS, l'EQIS a été déclinée, pour trois indicateurs de santé, par groupes de communes définis selon leur niveau de défavorisation sociale. Ainsi l'impact d'un différentiel d'exposition selon lequel certains groupes de population ne sont pas exposés aux mêmes niveaux de pollution atmosphérique a pu être exploré dans l'EQIS pour les indicateurs asthme de l'enfant, cancer du poumon et AVC chez les adultes.

3.2. Méthode

3.2.1. Scénarios de prise en compte du différentiel d'exposition selon la catégorie de défavorisation des communes :

À partir des scénarios retenus pour l'analyse principale, le nombre de cas évités pour une année donnée a été estimé par catégories de défavorisation définies à partir des quintiles de la distribution de l'indice EDI.

3.2.2. Données de défavorisation sociale

Obtenir une mesure du niveau socio-économique est un enjeu majeur et récurrent de la recherche en santé publique. Face au manque de données individuelles, les recherches se sont orientées vers l'utilisation d'indicateurs écologiques. En France, deux indicateurs de défavorisation sont couramment utilisés dans les travaux de recherche ; il s'agit du Fdep²⁷ (French DEPrivation index) et du F-EDI²⁸ (French European Deprivation Index).

²³ Santé Publique France. Les Inégalités sociales et territoriales de santé. Mai 2021. <https://www.santepubliquefrance.fr/les-inegalites-sociales-et-territoriales-de-sante>

²⁴ Différentiel d'exposition : les populations socialement défavorisées seraient plus exposées à certains polluants et/ou à un nombre de polluants plus importants car les sources de pollution ne seraient pas équitablement réparties sur le territoire.

²⁵ Différentiel de vulnérabilité : les populations défavorisées seraient plus fragiles et plus vulnérables aux nuisances environnementales à cause de leur condition de vie. Ainsi, à niveau d'exposition identique, les populations plus défavorisées (ou résidant dans des quartiers plus défavorisés) auraient des effets sanitaires plus fréquents, voire plus graves.

²⁶ <https://www.goodplanet.info/2015/09/02/pauvres-et-riches-inegaux-face-aux-deces-imputables-a-la-pollution-de-lair-a-paris/>

²⁷ https://www.cepidc.inserm.fr/sites/default/files/2020-11/Note_indices_socioeco-2.pdf

²⁸ https://www.cepidc.inserm.fr/sites/default/files/2020-11/Note_indices_socioeco-2.pdf
<https://storymaps.arcgis.com/stories/59026182c4b547c999a7048ec22c7498>

Le premier a été conçu dans le contexte des approches écologiques, connu pour être particulièrement adapté à la caractérisation du niveau global de défavorisation d'un territoire. L'indice FDep est composé de quatre variables, chacune reconnue pour couvrir une dimension donnée du niveau socio-économique : le revenu médian des ménages, le pourcentage de diplômés de l'enseignement secondaire dans la population âgée de 15 ans et plus, le pourcentage d'ouvriers dans la population active et le taux de chômage. Les deux premières variables sont négativement corrélées à la défavorisation, tandis que les deux dernières le sont positivement.

Le F-EDI, en intégrant des données individuelles de la population française de l'enquête européenne EU – SILC²⁹ (European Union – Statistics on Income and Living Conditions) est construit pour constituer une approximation écologique du niveau individuel de la défavorisation.

Cet indice est construit en 3 étapes :

1. Identification des besoins fondamentaux par l'enquête EU-SILC et création d'un indicateur individuel de déprivation ;
2. Identification des variables communes aux données EU-SILC et au recensement Insee 2017 ;
3. Enfin la dernière étape consiste à expliquer les variations de l'indice de défavorisation individuel obtenu à la première étape par les variables de l'Insee identifiées à l'étape 2 à partir d'un modèle de régression logistique. Les paramètres estimés par le modèle de régression logistique seront les poids appliqués aux données à l'échelle agrégée (les données de l'Insee) ; l'indicateur final de défavorisation est obtenu par combinaison linéaire.

Plus la valeur de l'EDI est négative, plus la commune est favorisée. Inversement, plus la valeur est positive, plus la commune est défavorisée.

Les 10 variables du recensement intervenant dans le calcul de l'indice de défavorisation sont les pourcentages suivants :

- ménages sans voiture
- ménages de plus de 6 personnes
- ménages composés d'une famille monoparentale
- logements suroccupés (ie. plus d'une personne par pièce)
- ménages non propriétaires de leur logement
- personnes au chômage
- personnes de nationalité étrangère
- personnes dont la profession n'est ni cadre ni profession intermédiaire
- personnes ayant un diplôme inférieur à l'enseignement supérieur
- personnes non mariées.

L'hypothèse selon laquelle le fait de ne pas avoir accès à une voiture n'est pas un signe de défavorisation dans certaines zones a été analysée par une étude sur les différences de classement des unités géographiques Iris obtenues en retirant cette composante du score global F-EDI (Merville *et al.* 2022). Dans les zones les plus urbanisées, les Iris sont presque systématiquement considérés comme moins défavorisés lorsque la variable « ne pas avoir accès à une voiture » est retirée du modèle, alors qu'il n'a pas été observé cette tendance dans les autres zones. Dans toutes les zones, c'est la suppression du "ménage composé d'une famille monoparentale" qui a entraîné la plupart des changements dans le classement des Iris. En réalité, le F-EDI est composé de multiples indicateurs de la défavorisation sociale qui contribuent chacun avec un poids variable dans l'indice final selon les caractéristiques du territoire. Même si toutes les composantes de l'indice F-EDI ne sont pas des marqueurs de défavorisation en termes de caractéristiques de localisation, la nature multidimensionnelle de l'indice garantit sa robustesse.

Dans le cadre de cette étude, l'objectif est de prendre en compte l'existence d'une exposition différentielle par niveau de défavorisation au niveau communal dans l'EQIS. Le F-EDI est supposé être une approximation écologique validée du niveau individuel de défavorisation, comme l'ont montré

²⁹ <https://ec.europa.eu/eurostat/web/microdata/european-union-statistics-on-income-and-living-conditions>

(Temam *et al.* 2017). En effet, il combine des dimensions de la défavorisation objective (à partir des données du recensement de l'Insee) et subjective (à partir des données recueillies dans l'enquête européenne sur la déprivation EU-SILC). Ainsi, cet indicateur a été retenu pour cette étude afin de caractériser le niveau de défavorisation des communes de la France hexagonale. L'analyse en fonction de la défavorisation sociale n'a pu être réalisée que pour trois indicateurs de santé : l'asthme chez l'enfant, le cancer du poumon et l'AVC chez l'adulte.

3.2.3. Étapes de prise en compte des inégalités sociales

La prise en compte des inégalités sociales a consisté à stratifier les analyses selon le niveau de défavorisation des communes. Les cas évités ont été estimés suivant la même méthode présentée ci-dessus par classe de défavorisation. Les résultats sont présentés en sommant les cas évités par niveau de défavorisation.

3.2.4. Analyses de sensibilité

Afin d'obtenir une meilleure discrimination de l'indice de défavorisation, nous avons effectué une analyse de sensibilité à l'Iris, introduisant la variabilité infracommunale en termes de PA (PM_{2,5} et NO₂) et d'indice de défavorisation pour quatre grandes métropoles françaises : Paris, Lyon, Rennes et Strasbourg. Pour Lyon, les données n'étaient disponibles que pour le NO₂.

3.3. Synthèse des résultats et interprétation

L'analyse de l'impact des PM_{2,5} sur les nouveaux cas de cancer du poumon, d'AVC et d'asthme infantile à partir de l'indicateur F-EDI à l'échelle communale ne montre pas de gradient clair entre les communes les plus défavorisées et les communes les plus favorisées, même si pour les AVC un certain gradient est plus visible : le taux de cas évités pour 100 000 habitants est plus élevé dans les communes les plus défavorisées, qu'elles soient rurales ou urbaines. En revanche, un gradient est plus visible pour le NO₂ et les nouveaux cas d'asthme infantile : en respectant la valeur guide de l'OMS de 10 µg/m³ pour le NO₂, en moyenne 130 nouveaux cas d'asthme infantile pour 100 000 habitants seraient évités dans les communes les plus défavorisées, et 37 pour 100 000 dans les communes les plus favorisées. Le taux maximal est atteint pour les communes urbaines et les métropoles.

Concernant les différences d'exposition à la PA selon le niveau de défavorisation dans les EQIS, l'indice F-EDI n'est pas apparu suffisamment discriminant au niveau communal. Au niveau des Iris dans quatre grandes métropoles françaises, les résultats dépendent de la structure de la métropole étudiée. En effet, dans les métropoles, il existe une variabilité infracommunale considérable en ce qui concerne la taille de la population, le niveau de défavorisation et les concentrations de PA. Malheureusement, les données d'incidence ne sont pas disponibles à cette échelle géographique fine, et les taux d'incidence utilisés dans l'EQIS étaient donc communaux, masquant d'éventuelles différences infra-communales dans les grandes communes densément peuplées. Des études complémentaires sont nécessaires pour identifier la forme de la relation entre le niveau d'exposition et les risques pour la santé en fonction du niveau de défavorisation sociale. Pour ce faire, nous disposons actuellement de données sur la pollution, la population et la défavorisation à des échelles géographiques représentatives de cette défavorisation, mais pas de données d'incidence.

Discussion sur les analyses de défavorisation sociale

En France, de nombreux indicateurs mettent en évidence une amélioration de l'état de santé de la population comme en témoigne l'augmentation de l'espérance de vie (INSEE 2018). Cependant, cette amélioration n'a pas profité de la même manière à tous. En effet, malgré l'amélioration globale des conditions de vie et les progrès des prises en charge médicales, des disparités sociales significatives demeurent en matière de santé en France (INSEE 2018). C'est pourquoi, il est nécessaire de

continuer à améliorer la connaissance des déterminants de santé pour organiser des interventions ciblées.

Dans ce contexte, l'identification du rôle des expositions environnementales dans les inégalités de santé constitue un fort enjeu de santé publique. Par ailleurs, depuis plusieurs années, de nombreuses études documentent l'existence du différentiel d'exposition et de vulnérabilité pour comprendre les mécanismes par lesquels les déterminants socioéconomiques peuvent jouer un rôle dans les effets sur la santé de l'exposition à la pollution de l'air³⁰ (Kruize *et al.* 2007 ; Namdeo and Stringer 2008 ; Havard *et al.* 2009 ; Padilla *et al.* 2014 ; Forastiere *et al.* 2007 ; Deguen *et al.* 2016). Ces études mettent notamment en évidence que si les zones les plus défavorisées socialement ne sont pas toujours les zones les plus exposées à la pollution de l'air, elles ont par contre des indicateurs de santé plus défavorables, et regroupent une population importante, ce qui fait que les bénéfices les plus notables en effectifs y sont souvent observés.

Les résultats obtenus dans ce travail révèlent certaines disparités de répartition des bénéfices de santé selon les catégories de défavorisation toujours en défaveur des communes les plus défavorisées et ce, quel que soit l'événement de santé analysée et, alors même que comme rapporté dans des études précédentes, les communes les plus défavorisées ne sont pas systématiquement celles présentant des concentrations moyennes en NO₂ ou PM_{2,5} les plus élevées. En effet, même au niveau de concentrations moyen en PM_{2,5} légèrement plus élevé, la combinaison avec la forte densité de population de zones urbaines conduit « mathématiquement » à un nombre de cas évité plus élevé.

En combinant la classe de densité et la catégorie de défavorisation, l'analyse de la répartition des pourcentages des cas évités permet pour chaque événement sanitaire d'identifier les parties du territoire où il pourrait être envisagé d'intervenir en priorité.

Ce travail peut dans une certaine mesure contribuer à apporter des outils d'aide à la décision aux acteurs clés dans l'élaboration et la mise en place des interventions territoriales les plus équitables. En effet, un des freins dans la prise en compte des inégalités environnementales par les décideurs réside dans la difficulté de conduire une réflexion transversale sur les aspects sociaux et environnementaux ; en effet, délimiter ce qui relève de la dimension sociale des inégalités et celle des spécificités du territoire caractérisant notre environnement de vie, et donc notre exposition aux nuisances environnementales (incluant la pollution de l'air), s'avère une opération complexe et délicate. Dans ce contexte, on observe que si la quantification des bénéfices sur la santé d'une amélioration de la qualité de l'environnement est régulièrement réalisée, peu de travaux s'intéressent à l'évaluation de la répartition de ces bénéfices selon les groupes socioéconomiques. Pourtant, les quelques études évaluant l'effet de certains programmes de santé publique tendent à démontrer qu'ils sont aussi socialement structurés ; ces programmes pourraient avoir comme conséquence de creuser les inégalités sociales et territoriales de santé en l'absence d'actions destinées prioritairement à des groupes plus défavorisés. C'est ce que (Benmarhnia *et al.* 2014) ont montré concernant la mise en place de la zone à faible émission à Londres ; les auteurs concluaient que cette intervention pourrait modifier la répartition spatiale de la pollution atmosphérique au détriment des populations socialement plus vulnérables. Ainsi, aujourd'hui, il apparaît important d'adresser cette réflexion sur les conséquences involontaires que peut avoir la mise en place de ces interventions territoriales visant à améliorer la qualité de notre environnement, et de la qualité de l'air en ce qui nous concerne ici, sur les inégalités sociales de santé.

Ce travail comprend un certain nombre de limites qui sont principalement liées aux données d'entrée mobilisées en lien avec l'échelle géographique d'analyse. Si l'échelle géographique d'analyse, la commune, peut être considérée comme suffisamment fine dans la plupart des cas pour capturer une part importante des variations spatiales des concentrations des polluants atmosphériques et du niveau de défavorisation, celle-ci gomme ces variations pour les zones urbaines notamment dans les grandes métropoles françaises. En effet, l'échelle communale se révèle alors inadaptée pour nuancer au sein des grandes métropoles les disparités de concentrations de polluants de l'air, pouvant varier du simple au double au sein d'une commune. Le même constat peut être fait pour caractériser le

niveau de défavorisation, l'EDI estimé à l'échelle de la commune masque de fortes disparités socioéconomiques comme le démontrent les analyses de sensibilité conduites à l'échelle de l'Iris.

Une autre source d'incertitude pour l'étude des ISS en lien avec la PA concerne le choix de certaines des 10 variables composant l'indice F-EDI. Dans des travaux futurs, il serait intéressant de construire un indice EDI spécifique, adapté au problème de la PA, en ne retenant que certaines de ces variables.

De plus, il est important de rappeler que l'EDI ne remplace pas la recherche cruciale sur les déterminants sociaux propres à chaque *événement* de santé. Cette recherche, en travaillant davantage sur les mécanismes sous-jacents au risque de chaque événement de santé, permettra à terme, d'identifier la ou les variables individuelles socioéconomiques pertinentes (revenu, éducation...) à intégrer dans de futures EQIS, pour différents profils de territoire. Néanmoins, une première étape pourrait consister à établir des FCR, par le biais de cohortes par exemple, qui seraient suivies au sein de la population dans les différentes catégories de défavorisation.

Une limite complémentaire, qui constitue une perspective à ce travail, est le manque de données scientifiques documentant l'existence d'un différentiel de vulnérabilité selon lequel certains groupes de population sont plus sensibles que d'autres à un même niveau d'exposition. En effet, seul le différentiel d'exposition a pu être analysé dans ce travail, le différentiel de vulnérabilité n'a pas pu être exploré. Il est admis dans la littérature scientifique, que certains groupes de population, notamment ceux les plus défavorisés, en plus d'être affectés par une exposition accrue, seraient plus vulnérables aux agressions environnementales. Ainsi, ce résultat conduirait à utiliser des FCR différentes selon les catégories de défavorisation ; ceci pourrait conduire à des résultats encore plus contrastés entre ces différentes catégories de défavorisation. Ceci dit, si les taux d'incidence étaient disponibles au niveau de l'Iris, l'analyse de la défavorisation aurait été possible en utilisant une FCR constante.

Les résultats détaillés figurent en Annexe 5.

CONCLUSIONS

Cette étude est la première évaluation quantitative d'impact sur la santé réalisée par Santé publique France sur la survenue de maladies consécutives à une exposition au long cours à la pollution de l'air ambiant en France hexagonale. Elle réalise une analyse exploratoire sur les inégalités sociales de santé. Elle donne également, en volume 2, des éléments sur les impacts économiques engendrés par cette pollution.

L'étude complète les résultats sur la mortalité publiés en 2021. Elle montre que l'impact à long terme de la PA sur la santé concerne non seulement la mortalité, mais aussi, la survenue d'un ensemble de maladies, dont huit parmi les dix proposées par le projet EMAPEC de l'OMS ont été analysées ici, compte tenu des données disponibles :

- au niveau respiratoire : cancer du poumon, bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO), asthme de l'enfant et de l'adulte, infections aiguës des voies respiratoires inférieures (grippe exclue) (ALRI) ;
- au niveau cardiovasculaire : accident vasculaire cérébral (AVC), infarctus aigu du myocarde (IAM), hypertension artérielle (HTA) ;
- au niveau métabolique : diabète de type 2.

Notre étude montre que l'exposition au long cours aux $PM_{2,5}$ et au NO_2 , a un impact conséquent sur l'apparition de nouveaux cas des maladies considérées au sein des populations étudiées. Selon la maladie et le polluant étudié, entre 12 et 20% des nouveaux cas de maladies respiratoires chez l'enfant, et 7 et 13% de nouveaux cas de maladies respiratoires, cardiovasculaires ou métaboliques chez l'adulte pourraient être évités en moyenne une année donnée dans le cas d'une diminution sensible des concentrations en $PM_{2,5}$ et NO_2 .

L'exposition aux $PM_{2,5}$ reste l'exposition pour laquelle les preuves scientifiques sont les plus solides, et pour laquelle l'impact sur la morbidité est le plus élevé.

L'étude montre aussi que le respect des valeurs guides de l'OMS permettrait d'éviter la majeure partie de la morbidité attribuable à la PA d'origine anthropique, à hauteur de 75% pour les $PM_{2,5}$ et à près de 50 % pour le NO_2 .

Si l'on détaille le calcul de l'impact sur le territoire d'étude en fonction du niveau de densité de la population, l'analyse met en évidence que les impacts sur la santé de la pollution de l'air sont plus importants en zones urbaines.

Si l'on s'intéresse au dioxyde d'azote (NO_2), les bénéfices pour la santé sont plus faibles que pour les $PM_{2,5}$ sur l'ensemble du territoire de la France hexagonale. Ceci est dû au fait que les niveaux de NO_2 sont déjà inférieurs aux valeurs guides de l'OMS dans une partie du territoire hexagonal, et son impact est surtout observé dans les grandes zones urbaines, en tant que traceur du trafic routier.

Si l'on détaille le calcul de l'impact sur le territoire d'étude en fonction du niveau de défavorisation sociale, les résultats de l'étude exploratoire conduite pour l'incidence du cancer du poumon et de l'AVC chez l'adulte, et pour l'incidence de l'asthme chez l'enfant, soulignent que les bénéfices attendus pour la santé seraient globalement plus importants dans les territoires plus défavorisés et plus urbanisés. Cependant, ces résultats sont à interpréter avec prudence et des travaux sont à poursuivre du fait d'une part, d'une forte variabilité au sein des territoires eux-mêmes et entre les territoires, selon les classes de défavorisation ; et d'autre part, d'un manque de connaissances à ce jour sur l'existence d'un différentiel de vulnérabilité des populations (à savoir, si certains groupes de population sont plus sensibles que d'autres à un même niveau d'exposition).

Par ailleurs, la construction des indicateurs d'incidence (les indicateurs qui mesurent l'apparition de nouveaux cas) des pathologies étudiées a constitué un enjeu majeur de cette étude. Ces estimations d'incidence se sont basées sur des données d'hospitalisation ou de remboursement de médicaments.

Les indicateurs n'ont pu donc identifier que des cas sévères ayant nécessité une hospitalisation et/ou un traitement, et cela a pu conduire dans certains cas à une sous-estimation des incidences réelles et, donc, des impacts sur la santé. D'autre part, les traitements utilisés pour les maladies étudiées ne sont pas exclusivement délivrés pour ces pathologies. Cela a pu entraîner, dans certains cas, une surestimation des incidences et des impacts sur la santé. Dans les deux cas, les sous ou surestimations potentielles sont difficiles à quantifier. La consultation des experts nationaux a permis, au vu des données disponibles en France, de disposer de la meilleure estimation possible des incidences de cas des pathologies analysées, malgré les incertitudes identifiées.

Enfin, l'exposition quotidienne sur le long cours à la PA a des impacts sur la santé de l'ensemble de la population quel que soit le niveau de pollution, et toute diminution de l'exposition à cette pollution sera bénéfique.

Bien que la qualité de l'air s'améliore globalement chaque année, nos résultats montrent que la poursuite des politiques d'amélioration de la qualité de l'air reste un véritable enjeu de santé publique. La PA étant un mélange complexe de polluants dans l'air, il est nécessaire d'agir depuis différentes perspectives sur ce mélange, et les améliorations doivent porter sur toutes les sources de pollution et concerner l'ensemble du territoire, qu'il soit urbain ou rural.

En conclusion, dans le contexte de l'adoption de nouvelles directives européennes sur la qualité de l'air ambiant, qui aligne davantage les directives de qualité de l'air sur les recommandations de l'OMS sans toutefois les atteindre, ces résultats apportent des éléments d'information visant à orienter les efforts de prévention pour réduire l'exposition à la pollution de l'air, et mieux protéger la santé de la population française. Si nous sommes conscients que les valeurs guides de l'OMS sont ambitieuses, disposer de telles valeurs à atteindre encourage à engager des actions de réduction des émissions de pollution dans l'atmosphère toujours plus intenses et innovantes. Au vu de tous ces éléments, Santé publique France soutient que le respect des valeurs guides de l'OMS permettrait de réduire la mortalité et la morbidité attribuables à la pollution de l'air en France, contribuant à atteindre l'objectif du [Plan d'action mondial pour la lutte contre les maladies non transmissibles de l'OMS](#), à savoir une réduction d'un tiers du risque de décéder d'une maladie chronique à l'horizon 2030.

Références bibliographiques du volume 1

- Adamkiewicz, G., J. Liddie, and J. M. Gaffin. 2020. 'The Respiratory Risks of Ambient/Outdoor Air Pollution', *Clinics in chest medicine*, 41: 809-24.
- Adélaïde, L., S. Medina, V Wagner, P. De Crouy-Chanel, E. Real, A. Colette, F. Couvidat, B. Bessagnet, M. Alter, A. Durou, S. Host, M. Hulin, M. Corso, and M. Pascal. 2021. 'Covid-19 Lockdown in Spring 2020 in France Provided Unexpected Opportunity to Assess Health Impacts of Falls in Air Pollution', *Frontiers in Sustainable Cities*, 3.
- Benmarhnia, T., L. Rey, Y. Cartier, C. M. Clary, S. Deguen, and A. Brousselle. 2014. 'Addressing equity in interventions to reduce air pollution in urban areas: a systematic review', *Int J Public Health*, 59: 933-44.
- Brauer, M., G. Freedman, J. Frostad, A. Van Donkelaar, R. V. Martin, F. Dentener, R. Van Dingenen, K. Estep, H. Amini, J. S. Apte, K. Balakrishnan, L. Barregard, D. Broday, V. Feigin, S. Ghosh, P. K. Hopke, L. D. Knibbs, Y. Kokubo, Y. Liu, S. Ma, L. Morawska, J. L. T. Sangrador, G. Shaddick, H. R. Anderson, T. Vos, M. H. Forouzanfar, R. T. Burnett, and A. Cohen. 2016. 'Ambient Air Pollution Exposure Estimation for the Global Burden of Disease 2013', *Environmental science & technology*, 50: 79-88.
- Burnett, R., H. Chen, M. Szyszkowicz, N. Fann, B. Hubbell, C. A. Pope, 3rd, J. S. Apte, M. Brauer, A. Cohen, S. Weichenthal, J. Coggins, Q. Di, B. Brunekreef, J. Frostad, S. S. Lim, H. Kan, K. D. Walker, G. D. Thurston, R. B. Hayes, C. C. Lim, M. C. Turner, M. Jerrett, D. Krewski, S. M. Gapstur, W. R. Diver, B. Ostro, D. Goldberg, D. L. Crouse, R. V. Martin, P. Peters, L. Pinault, M. Tjepkema, A. van Donkelaar, P. J. Villeneuve, A. B. Miller, P. Yin, M. Zhou, L. Wang, N. A. H. Janssen, M. Marra, R. W. Atkinson, H. Tsang, T. Quoc Thach, J. B. Cannon, R. T. Allen, J. E. Hart, F. Laden, G. Cesaroni, F. Forastiere, G. Weinmayr, A. Jaensch, G. Nagel, H. Concin, and J. V. Spadaro. 2018. 'Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter', *Proc Natl Acad Sci U S A*, 115: 9592-97.
- Chen, J., and G. Hoek. 2020. 'Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis', *Environ Int*, 143: 105974.
- Cheng, S., Y. Jin, Y. Dou, Y. Zhao, Y. Duan, H. Pei, and P. Lyu. 2022. 'Long-term particulate matter 2.5 exposure and dementia: a systematic review and meta-analysis', *Public Health*, 212: 33-41.
- Ciarelli, G., A. Colette, S. Schucht, M. Beekmann, C. Andersson, A. Manders-Groot, M. Mircea, S. Tsyro, H. Fagerli, A. G. Ortiz, M. Adani, G. Briganti, A. Cappelletti, M. D'Isidoro, C. Cuvelier, F. Couvidat, F. Meleux, and B. Bessagnet. 2019. 'Long-term health impact assessment of total PM_{2.5} in Europe during the 1990–2015 period', *Atmospheric Environment*: X, 3: 100032.
- Colette, A., C. Andersson, A. Manders, K. Mar, M. Mircea, M. T. Pay, V. Raffort, S. Tsyro, C. Cuvelier, M. Adani, B. Bessagnet, R. Bergström, G. Briganti, T. Butler, A. Cappelletti, F. Couvidat, M. D'Isidoro, T. Doumbia, H. Fagerli, C. Granier, C. Heyes, Z. Klimont, N. Ojha, N. Otero, M. Schaap, K. Sindelarova, A. I. Stegehuis, Y. Roustan, R. Vautard, E. van Meijgaard, M. G. Vivanco, and P. Wind. 2017. 'EURODELTA-Trends, a multi-model experiment of air quality hindcast in Europe over 1990–2010', *Geosci. Model Dev.*, 10: 3255-76.
- Copat, C., A. Cristaldi, M. Fiore, A. Grasso, P. Zuccarello, S. S. Signorelli, G. O. Conti, and M. Ferrante. 2020. 'The role of air pollution (PM and NO₂) in COVID-19 spread and lethality: A systematic review', *Environ Res*, 191: 110129.
- Deguen, S., C. Petit, A. Delbarre, W. Kihal, C. Padilla, T. Benmarhnia, A. Lapostolle, P. Chauvin, and D. Zmirou-Navier. 2016. 'Correction: Neighbourhood Characteristics and Long-Term Air Pollution Levels Modify the Association between the Short-Term Nitrogen Dioxide Concentrations and All-Cause Mortality in Paris', *PLoS One*, 11: e0150875.
- European Respiratory Society. 'Air pollution and health facts & myths'. <https://www.ersnet.org/news-and-features/news/air-pollution-and-health-facts-and-myths/>.
- Forastiere, F., J. V. Spadaro, C. Ancona, Z. Jovanovic Andersen, I. Cozzi, S. Gumy, D. Loncar, P. Mudu, S. Medina, R. Perez Velasco, H. Walton, J. Zhang, and M. Krzyzanowski. 2024. 'Choices of morbidity outcomes and concentration–response functions for health risk assessment of long-term exposure to air pollution', *Environmental Epidemiology*, 8: e314.
- Forastiere, F., M. Stafoggia, C. Tasco, S. Picciotto, N. Agabiti, G. Cesaroni, and C. A. Perucci. 2007. 'Socioeconomic status, particulate air pollution, and daily mortality: differential exposure or differential susceptibility', *Am J Ind Med*, 50: 208-16.
- Fuentes, S., R. Hrzic, R. Haneef, S. Kab, E. Cosson, and S. Fosse-Edorh. 2023. 'Identifying type 1 / type 2 diabetes in medico-administrative database to improve health surveillance, medical research and prevention in diabetes: Algorithm development and application', *Diabetes Epidemiology and Management*, 10: 100137.
- Gauderman, W. J., R. Urman, E. Avol, K. Berhane, R. McConnell, E. Rappaport, R. Chang, F. Lurmann, and F. Gilliland. 2015. 'Association of improved air quality with lung development in children', *N Engl J Med*, 372: 905-13.
- GBD 2016 Risk Factors Collaborators. 2017. 'Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016', *Lancet*, 390: 1345-422.
- Harmon, A. C., V. Y. Hebert, S. A. Cormier, B. Subramanian, J. R. Reed, W. L. Backes, and T. R. Dugas. 2018. 'Particulate matter containing environmentally persistent free radicals induces AhR-dependent cytokine and reactive oxygen species production in human bronchial epithelial cells', *PLoS One*, 13: e0205412.
- Havard, S., S. Deguen, D. Zmirou-Navier, C. Schillinger, and D. Bard. 2009. 'Traffic-related air pollution and socioeconomic status: a spatial autocorrelation study to assess environmental equity on a small-area scale', *Epidemiology*, 20: 223-30.
- HEI Panel on the Health Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution. 2022. "Systematic Review and Meta-analysis of Selected Health Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution. ." In.: Special Report 23. Boston, MA:Health Effects Institute.

- Hill, A. B. 1965. 'The environment and disease: association or causation?', *Proc R Soc Med*, 58: 295-300.
- Horálek, J., P. De Smet, F. De Leeuw, P. Kurfürst, and N. Benešová. 2016. "European air quality maps of PM and ozone for 2014." In: In: ETC/ACM, Editor, Technical Report, RIVM, Bilthoven.
- Huangfu, P., and R. Atkinson. 2020. 'Long-term exposure to NO(2) and O(3) and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis', *Environ Int*, 144: 105998.
- INSEE. 2018. 'Espérance de vie et mortalité'. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3676610?sommaire=3696937>.
- INSEE. 2021. 'La France et ses territoires'. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5039991?sommaire=5040030>.
- Jaligama, S., V. S. Patel, P. Wang, A. Sallam, J. Harding, M. Kelley, S. R. Mancuso, T. R. Dugas, and S. A. Cormier. 2018. 'Radical containing combustion derived particulate matter enhance pulmonary Th17 inflammation via the aryl hydrocarbon receptor', *Part Fibre Toxicol*, 15: 20.
- Khreis, H., C. Kelly, J. Tate, R. Parslow, K. Lucas, and M. Nieuwenhuijsen. 2017. 'Exposure to traffic-related air pollution and risk of development of childhood asthma: A systematic review and meta-analysis', *Environ Int*, 100: 1-31.
- Kim, D., Z. Chen, L. F. Zhou, and S. X. Huang. 2018. 'Air pollutants and early origins of respiratory diseases', *Chronic Dis Transl Med*, 4: 75-94.
- Kruize, H., P. P. Driessen, P. Glasbergen, and K. N. van Egmond. 2007. 'Environmental equity and the role of public policy: experiences in the Rijnmond region', *Environ Manage*, 40: 578-95.
- Lailler, G., C. Piffaretti, S. Fuentes, H. D. Nabe, A. Oleko, E. Cosson, and S. Fosse-Edorh. 2020. 'Prevalence of prediabetes and undiagnosed type 2 diabetes in France: Results from the national survey ESTEBAN, 2014-2016', *Diabetes Res Clin Pract*, 165: 108252.
- Lamprecht, B., J. B. Soriano, M. Studnicka, B. Kaiser, L. E. Vanfleteren, L. Gnatiuc, P. Burney, M. Miravittles, F. García-Río, K. Akbari, J. Ancochea, A. M. Menezes, R. Perez-Padilla, M. Montes de Oca, C. A. Torres-Duque, A. Caballero, M. González-García, and S. Buist. 2015. 'Determinants of Underdiagnosis of COPD in National and International Surveys', *CHEST*, 148: 971-85.
- Landrigan, P. J., R. Fuller, N. J. R. Acosta, O. Adeyi, R. Arnold, N. N. Basu, A. B. Baldé, R. Bertollini, S. Bose-O'Reilly, J. I. Boufford, P. N. Breyse, T. Chiles, C. Mahidol, A. M. Coll-Seck, M. L. Cropper, J. Fobil, V. Fuster, M. Greenstone, A. Haines, D. Hanrahan, D. Hunter, M. Khare, A. Krupnick, B. Lanphear, B. Lohani, K. Martin, K. V. Mathiasen, M. A. McTeer, C. J. L. Murray, J. D. Ndahimananjara, F. Perera, J. Potočník, A. S. Preker, J. Ramesh, J. Rockström, C. Salinas, L. D. Samson, K. Sandilya, P. D. Sly, K. R. Smith, A. Steiner, R. B. Stewart, W. A. Suk, O. C. P. van Schayck, G. N. Yadama, K. Yumkella, and M. Zhong. 2018. 'The Lancet Commission on pollution and health', *Lancet*, 391: 462-512.
- Lelieveld, J., J. S. Evans, M. Fnais, D. Giannadaki, and A. Pozzer. 2015. 'The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale', *Nature*, 525: 367-71.
- Létinois, L. 2014. " Méthodologie de répartition spatiale de la population. ." In.: Report LCSQA.
- Lin, L. Z., X. L. Zhan, C. Y. Jin, J. H. Liang, J. Jing, and G. H. Dong. 2022. 'The epidemiological evidence linking exposure to ambient particulate matter with neurodevelopmental disorders: A systematic review and meta-analysis', *Environ Res*, 209: 112876.
- Luyten, L. J., N. D. Saenen, B. G. Janssen, K. Vrijens, M. Plusquin, H. A. Roels, F. Debacq-Chainiaux, and T. S. Nawrot. 2018. 'Air pollution and the fetal origin of disease: A systematic review of the molecular signatures of air pollution exposure in human placenta', *Environ Res*, 166: 310-23.
- Mailler, S., L. Menut, D. Khvorostyanov, M. Valari, F. Couvidat, G. Siour, S. Turquety, R. Briant, P. Tuccella, B. Bessagnet, A. Colette, L. Létinois, K. Markakis, and F. Meleux. 2017. 'CHIMERE-2017: from urban to hemispheric chemistry-transport modeling', *Geosci. Model Dev.*, 10: 2397-423.
- Marécal, V., V. H. Peuch, C. Andersson, S. Andersson, J. Arteta, M. Beekmann, A. Benedictow, R. Bergström, B. Bessagnet, A. Cansado, F. Chéroux, A. Colette, A. Coman, R. L. Curier, H. A. C. Denier van der Gon, A. Drouin, H. Elbern, E. Emili, R. J. Engelen, H. J. Eskes, G. Foret, E. Friese, M. Gauss, C. Giannaros, J. Guth, M. Joly, E. Jaumouillé, B. Josse, N. Kadygrov, J. W. Kaiser, K. Krajsek, J. Kuenen, U. Kumar, N. Liora, E. Lopez, L. Malherbe, I. Martinez, D. Melas, F. Meleux, L. Menut, P. Moinat, T. Morales, J. Parmentier, A. Piacentini, M. Plu, A. Poupkou, S. Queguiner, L. Robertson, L. Rouil, M. Schaap, A. Segers, M. Sofiev, L. Tarasson, M. Thomas, R. Timmermans, Á Valdebenito, P. van Velthoven, R. van Versendaal, J. Vira, and A. Ung. 2015. 'A regional air quality forecasting system over Europe: the MACC-II daily ensemble production', *Geosci. Model Dev.*, 8: 2777-813.
- Medina, S., L. Adélaïde, V. Wagner, P. De Crouy Chanel, E. Real, A. Colette, F. Couvidat, B. Bessagnet, A. Durou, S. Host, M. Hulin, M. Corso, and M. Pascal. 2021. "Impact de pollution de l'air ambiant sur la mortalité en France métropolitaine. Réduction en lien avec le confinement du printemps 2020 et nouvelles données sur le poids total pour la période 2016-2019." In, 64 p. Saint-Maurice: Santé publique France.
- Menut, L., B. Bessagnet, R. Briant, A. Cholakian, F. Couvidat, S. Mailler, R. Pennel, G. Siour, P. Tuccella, S. Turquety, and M. Valari. 2021. 'The CHIMERE v2020r1 online chemistry-transport model', *Geosci. Model Dev.*, 14: 6781-811.
- Merville, O., L. Launay, O. Dejardin, Q. Rollet, J. Bryère, E. Guillaume, and G. Launoy. 2022. "Can an Ecological Index of Deprivation Be Used at the Country Level? The Case of the French Version of the European Deprivation Index (F-EDI)." In *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
- Namdeo, A., and C. Stringer. 2008. 'Investigating the relationship between air pollution, health and social deprivation in Leeds, UK', *Environ Int*, 34: 585-91.
- Padilla, C. M., W. Kihal-Talantikite, V. M. Vieira, P. Rossello, G. Le Nir, D. Zmirou-Navier, and S. Deguen. 2014. 'Air quality and social deprivation in four French metropolitan areas--a localized spatio-temporal environmental inequality analysis', *Environ Res*, 134: 315-24.
- Park, J., H-J. Kim, C-H. Lee, C. H. Lee, and H. W. Lee. 2021. 'Impact of long-term exposure to ambient air pollution on the incidence of chronic obstructive pulmonary disease: A systematic review and meta-analysis', *Environmental Research*, 194: 110703.
- Pascal, M., J-M. Yvon, and S. Medina. 2019. "Pollution atmosphérique. Guide pour la réalisation d'une évaluation quantitative des impacts sur la santé (EQIS). EQIS avec une exposition modélisée." In, 92 p. Saint-Maurice: Santé publique France.

- Perez, L., C. Declercq, C. Iñiguez, I. Aguilera, C. Badaloni, F. Ballester, C. Bouland, O. Chanel, F. B. Cirarda, F. Forastiere, B. Forsberg, D. Haluza, B. Hedlund, K. Cambra, M. Lacasaña, H. Moshhammer, P. Otorespec, M. Rodríguez-Barranco, S. Medina, and N. Künzli. 2013. 'Chronic burden of near-roadway traffic pollution in 10 European cities (APHEKOM network)', *Eur Respir J*, 42: 594-605.
- Perrine, A-L., C. Lecoffre, J. Blacher, and V. Olié. 2018. 'L'hypertension artérielle en France : prévalence, traitement et contrôle en 2015 et évolutions depuis 2006', *Bull Epidemiol Hebd*: 170-79.
- Petit, P. C., D. H. Fine, G. B. Vásquez, L. Gamero, M. S. Slaughter, and K. A. Dasse. 2017. 'The Pathophysiology of Nitrogen Dioxide During Inhaled Nitric Oxide Therapy', *Asaio J*, 63: 7-13.
- Pope, C. A., 3rd, N. Coleman, Z. A. Pond, and R. T. Burnett. 2020. 'Fine particulate air pollution and human mortality: 25+ years of cohort studies', *Environ Res*, 183: 108924.
- Qin, P., X. Luo, Y. Zeng, Y. Zhang, Y. Li, Y. Wu, M. Han, R. Qie, X. Wu, D. Liu, S. Huang, Y. Zhao, Y. Feng, X. Yang, F. Hu, X. Sun, D. Hu, and M. Zhang. 2021. 'Long-term association of ambient air pollution and hypertension in adults and in children: A systematic review and meta-analysis', *Sci Total Environ*, 796: 148620.
- Real, E., F. Couvidat, A. Ung, L. Malherbe, B. Raux, A. Gressent, and A. Colette. 2022. 'Historical reconstruction of background air pollution over France for 2000–2015', *Earth Syst. Sci. Data*, 14: 2419-43.
- Schucht, S., E. Real, F. Couvidat, L. Rouil, J-M. Brignon, N. Allemand, G. Le Clercq, and D. Fayolle. 2018. 'Analyse économique des impacts sanitaires dans le cadre de l'élaboration du PREPA', *Environnement, Risques & Santé*, Vol. 17: 393-400.
- Steinle, S., H. J. Johnston, M. Loh, W. Mueller, S. Vardoulakis, K. Tantrakarnapa, and J. W. Cherie. 2020. 'In Utero Exposure to Particulate Air Pollution during Pregnancy: Impact on Birth Weight and Health through the Life Course', *Int J Environ Res Public Health*, 17.
- Temam, S., R. Varraso, C. Pornez, M. Sanchez, A. Affret, B. Jacquemin, F. Clavel-Chapelon, G. Rey, S. Rican, and N. Le Moual. 2017. 'Ability of ecological deprivation indices to measure social inequalities in a French cohort', *BMC Public Health*, 17: 956.
- Tuffaha, H. W., L. G. Gordon, and P. A. Scuffham. 2014. 'Value of information analysis in healthcare: a review of principles and applications', *J Med Econ*, 17: 377-83.
- Unicef. 2021. "De l'injustice sociale dans l'air - pauvreté des enfants et pollution de l'air." In. https://www.unicef.fr/wp-content/uploads/2022/08/injusticesocialesdanslair_rapport_final_webpages.pdf
- US-EPA. 2016. "Integrated Science Assessment (ISA) for Oxides of Nitrogen – Health Criteria (Final Report, Jan 2016)." In.: Washington, DC, EPA/600/R-15/068.
- US-EPA 2021. "User's Manual for the Co-Benefits Risk Assessment Health Impacts Screening and Mapping Tool (COBRA)." In. <https://www.epa.gov/cobra/users-manual-co-benefits-risk-assessment-cobra-screening-model>
- Walton, H. 2010. "Development of proposals for cessation lag(s) for use in total impact calculations." In *The mortality effects of long-term exposure to particulate matter in the United Kingdom*.
- Walton, H., D. Evangelopoulos, M-I. Kasdagli, L. Selley, D. Dajnak, and K. Katsouyanni. 2021. "Investigating links between air pollution , COVID-19 and lower respiratory infectious diseases Independent analysis." In. <https://www.imperial.ac.uk/school-public-health/environmental-research-group/research/air-pollution-epidemiology/air-pollution-and-covid-19/>
- WHO. 2022. 'Ambient (outdoor) air pollution'. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
- WHO, global air quality guidelines. 2021. "Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide." In, edited by Geneva: World Health Organization, 290.
- WHO, Regional Office for Europe. 2013. 'Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project: Technical Report.' in (WHO Regional Office for Europe © World Health Organization 2013.: Copenhagen).
- WHO 2016. "Health risk assessment of air pollution – general principles." In.: Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- Yang, B. Y., S. Fan, E. Thiering, J. Seissler, D. Nowak, G. H. Dong, and J. Heinrich. 2020. 'Ambient air pollution and diabetes: A systematic review and meta-analysis', *Environ Res*, 180: 108817.
- Yu, P., S. Guo, R. Xu, T. Ye, S. Li, M. R. Sim, M. J. Abramson, and Y. Guo. 2021. 'Cohort studies of long-term exposure to outdoor particulate matter and risks of cancer: A systematic review and meta-analysis', *The Innovation*, 2: 100143.
- Yuan, S., J. Wang, Q. Jiang, Z. He, Y. Huang, Z. Li, L. Cai, and S. Cao. 2019. 'Long-term exposure to PM(2.5) and stroke: A systematic review and meta-analysis of cohort studies', *Environ Res*, 177: 108587.
- Zhao L, Fang J, Tang S, Deng F, Liu X, Shen Y, Liu Y, Kong F, Du Y, Cui L, Shi W, Wang Y, Wang J, Zhang Y, Dong X, Gao Y, Dong L, Zhou H, Sun Q, Dong H, Peng X, Zhang Y, Cao M, Wang Y, Zhi H, Du H, Zhou J, Li T, Shi X. PM2.5 and Serum Metabolome and Insulin Resistance, Potential Mediation by the Gut Microbiome: A Population-Based Panel Study of Older Adults in China. *Environ Health Perspect*. 2022 Feb ;130(2):27007. doi: 10.1289/EHP9688. Epub 2022 Feb 14. PMID: 35157499; PMCID: PMC8843086.
- Zhu, W., J. Cai, Y. Hu, H. Zhang, X. Han, H. Zheng, and J. Wu. 2021. 'Long-term exposure to fine particulate matter relates with incident myocardial infarction (MI) risks and post-MI mortality: A meta-analysis', *Chemosphere*, 267: 128903.

ANNEXES DU VOLUME 1

Annexe 1

Annexe 1a. Résumé de la stratégie EMAPEC pour la sélection des FCR recommandées pour une EQIS morbidité

Ce projet a mis en place une stratégie stricte pour sélectionner les FCR appropriées pour l'EQIS qu'il nous semble important de résumer ici. Cette stratégie est basée sur une évaluation systématique de la littérature et des méta-analyses disponibles (Forastiere *et al.* 2024).

La qualité des revues systématiques et des méta-analyses a été évaluée en premier lieu, puis, pour les publications de qualité adéquate, la force des preuves épidémiologiques, basée sur les considérations suivantes, a été évaluée :

- Seules les conditions cliniques bien définies ont été prises en compte. Les marqueurs physiopathologiques potentiels des effets, comme la fonction pulmonaire, par exemple, bien qu'importants pour comprendre le mécanisme d'action de la PA, ont été exclus ;
- Seuls les effets potentiels sur la santé présentant des preuves solides et convaincantes d'une relation avec l'indicateur de pollution considéré ont été retenus ;
- Les preuves doivent être quantifiées de manière adéquate dans des études observationnelles multiples bien caractérisées provenant de différentes parties du monde et qui indiquent collectivement une association statistiquement significative avec une marge d'incertitude relativement faible.

Le choix des FCR appropriés résulte d'un consensus entre experts, comme ce fut le cas dans l'exercice HRAPIE 2013 de l'OMS, avec une justification claire et transparente des choix.

La méthode EMAPEC a procédé par étapes pour la sélection de FCR de morbidité.

D'abord, dans les analyses de causalité développées par l'US-EPA (NO₂ 2016, PM_{2,5} 2019 et mise à jour 2021) seules les relations « causal » et « probablement causal » ont été retenues.

Puis une liste provisoire de paires polluant/effet a été établie sur la base des documents de l'EPA et des évaluations de la causalité. Pour chaque paire polluant/effet, une recherche des revues systématiques et méta-analyses a été réalisée en utilisant au moins deux bases de données pour les dix années 2013-2022 (jusqu'au 30 novembre 2022), complété par des recherches manuelles approfondies afin d'identifier des études supplémentaires. La sélection des études est effectuée indépendamment par deux chercheurs, et les divergences sont résolues en consultant un troisième chercheur.

La qualité de chaque revue systématique/méta-analyse a ensuite été évaluée en suivant l'approche pour l'évaluation de revues systématiques multiples (AMSTAR 2) proposée par Shea *et al.* (2017). Un instrument spécifique a été développé, incluant des critères supplémentaires non prévus dans AMSTAR 2 mais pertinents pour les études sur la pollution atmosphérique. Deux auteurs ont effectué ce processus séparément, et les résultats de l'évaluation ont été rapportés dans un tableau conçu à l'avance. L'application de cet outil aux revues systématiques/méta-analyses a permis de classer la confiance globale dans la qualité de la revue systématique comme étant : élevée, modérée, faible ou très faible. Seuls celles (et les FCR) dont la confiance est au moins "modérée" ont été retenues.

L'étape suivante a consisté à évaluer la qualité des preuves et la force des conclusions des revues systématiques/méta-analyses sélectionnées à partir de : critères clés (nombre suffisant d'études incluses dans la méta-analyse (à titre indicatif : 5 ou plus) ; signification statistique ($p < 0,05$) du résultat

de la méta-analyse ; et des critères importants (études provenant de divers continents/pays ; répartition des poids entre les études pour éviter que moins d'un tiers des études contribuent à plus de 66% de la somme globale des poids ; précision de l'estimation de l'effet (en utilisant les largeurs de l'intervalle de confiance IC) ; faible hétérogénéité (I-carré <0,75% ou limite inférieure de l'intervalle de prédiction) ; résultats d'études publiées plus récemment compatibles avec les résultats des revues systématiques). Le niveau de preuve a été classé comme suit : fort (deux critères clés et au moins 3 critères importants satisfaits), modéré (deux critères clés et jusqu'à deux critères importants OU un critère clé et au moins 3 critères importants satisfaits) et faible (un critère clé et jusqu'à deux critères importants satisfaits).

Cette classification a abouti aux listes A, B+ et B- décrites dans le chapitre méthodes.

La dernière étape a consisté à valider les informations basées sur les études individuelles incluses dans chaque revue systématique fournissant les CRF. Le processus de validation visait à 1) vérifier l'extraction et l'utilisation correctes dans la méta-analyse des estimations des études originales ; 2) vérifier la présence d'études en double ou de recoupements ; 3) vérifier si les mesures de l'effet n'étaient pas un mélange de données d'incidence et de prévalence ; et 4) fournir des informations supplémentaires sur les études individuelles pour la généralisation des résultats. Si des problèmes étaient identifiés aux points 1-3, une méta-analyse révisée a été réalisée avec les données d'entrée mises à jour afin de produire une estimation révisée du métrisque. Ce processus a permis de collecter trois éléments d'information importants à partir des études individuelles : la tranche d'âge de la population étudiée à laquelle peuvent s'appliquer les FCR, les codes CIM à retenir, et la gamme des concentrations de polluants auxquelles peuvent s'appliquer les FCR.

Les recommandations finales étaient des paires polluant/effet dans les listes A et B+, des informations sur les codes CIM10, la tranche d'âge et les gammes de concentrations pour appliquer une évaluation des risques cohérente avec la littérature contribuant au FCR.

L'approche EMAPEC décrite diffère des méthodes utilisées dans trois rapports récents : celui de l'EPA suédoise (Oudin *et al.* 2022), l'étude d'évaluation d'impact à l'appui de la révision des directives de l'UE sur la qualité de l'air ambiant (European Commission 2022) et celui de l'Agence européenne pour l'environnement (Kienzler *et al.* 2022). Les principales différences sont liées au fait que nous avons effectué un contrôle de la qualité des revues systématiques et que nous n'avons pas considérées comme appropriées les CRF lorsqu'elles étaient basées sur des études uniques (par exemple, ELAPSE). En conséquence, la plupart des CRF pour les PM_{2,5} sont différentes de celles recommandées ici, et nous n'avons pas considéré l'AVC, le diabète et le cancer du poumon comme des résultats appropriés pour le NO₂ en raison de l'absence d'une évaluation complète de la causalité pour ce polluant.

Références

- European Commission, Directorate-General for Environment. 2022. " Study to support the impact assessment for a revision of the EU Ambient Air Quality Directives: final report : appendix." In.: Publications Office of the European Union.
- Forastiere, F., J. V. Spadaro, C. Ancona, Z. Jovanovic Andersen, I. Cozzi, S. Gumy, D. Loncar, P. Mudu, S. Medina, R. Perez Velasco, H. Walton, J. Zhang, and M. Krzyzanowski. 2024. 'Choices of morbidity outcomes and concentration–response functions for health risk assessment of long-term exposure to air pollution', *Environmental Epidemiology*, 8: e314.
- Kienzler, S., Soares, J., González Ortiz, & A., Plass, D.,. 2022. "Estimating the morbidity related environmental burden of disease due to exposure to PM2.5, NO2 and O3 in outdoor ambient air. (Eionet Report – ETC HE 2022/11)." In.: European Topic Centre on Human Health and the Environment.
- Oudin, A., Flanagan, E., Malmqvist, E., & Forsberg, B.,. 2022 *Evidence of effect and exposure-response functions for PM2.5 and NO2 linked to morbidity.*
- Shea, B. J., B. C. Reeves, G. Wells, M. Thuku, C. Hamel, J. Moran, D. Moher, P. Tugwell, V. Welch, E. Kristjansson, and D. A. Henry. 2017. 'AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both', *Bmj*, 358: j4008.

Annexe 1b. Liste des fonctions concentration-risque recommandées par le projet EMAPEC

Tableau 1 - Fonctions concentration-risque pour l'incidence des maladies à partir d'une sélection de revues systématiques recommandées par le projet EMAPEC pour l'évaluation des risques pour la santé liés à une exposition à long terme aux PM_{2,5} et au NO₂ (source OMS, 2023)

Outcome (incidence)	ICD10 codes	Age (years)	List	RR (95%CI) per 10 µg/m ³	Mean exposure range (µg/m ³)	SR reference
Long term exposure to PM_{2,5}						
Asthma in children	J45	0 - 18	A	1.34 (1.10 ; 1.63)	5 - 38	Khreis <i>et al.</i> (2017)
COPD	J41 – J44	30+	A	1.18 (1.13 ; 1.23)	5 - 26	Park <i>et al.</i> (2021)
IHD events	I21-I22	30+	A	1.13 (1.05 ; 1.22)†	5 - 65	Zhu <i>et al.</i> (2021)
Stroke	I60 – I64	30+	A	1.16 (1.12 ; 1.20)†	5 - 36	Yuan <i>et al.</i> (2019)
Hypertension	I10 - I11	30+	A	1.17 (1.05, 1.30)†	5 - 77	Qin <i>et al.</i> (2021)
Dementia	F00-F03, G30	60+	A	1.46 (1.21 ; 1.77)†	5 - 25 [§]	Cheng <i>et al.</i> (2022)
Lung cancer	C34	30+	A	1.16 (1.10 ; 1.23)	5 - 44	Yu <i>et al.</i> (2021)
Autism Spectrum Disorders	F84.0, F84.1, F84.5, F84.8, F84.9	2 - 12	B+	1.66 (1.23; 2.25)†	5 - 30 [§]	Lin LZ <i>et al.</i> (2022)
Diabetes	E11 – E14	30+	B+	1.10 (1.03; 1.18)†	5 - 79	Yang BY <i>et al.</i> (2020)
Long-term exposure to NO₂						
Asthma in children	J45	0 - 18	A	1.10 (1.05 ; 1.18)	10 - 39	Khreis <i>et al.</i> (2017)
Asthma in adults	J45	19+	A	1.10 (1.01 ; 1.21)	10 - 40	HEI (2022)
ALRI in children	J12 – J18, J20 – J22	0 - 12	A	1.09 (1.03 ; 1.16)	10 - 56	HEI (2022)

† Relative risk estimates from revised meta-analysis.

§ Limiter l'applicabilité des CRF de ces indicateurs aux différences d'exposition ne dépassant pas 10 µg/m³ dans les gammes de concentrations indiquées.

Références

- Cheng, S., Y. Jin, Y. Dou, Y. Zhao, Y. Duan, H. Pei, and P. Lyu. 2022. 'Long-term particulate matter 2.5 exposure and dementia: a systematic review and meta-analysis', *Public Health*, 212: 33-41.
- HEI Panel on the Health Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution. 2022. "Systematic Review and Meta-analysis of Selected Health Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution" In.: Special Report 23. Boston, MA:Health Effects Institute.
- Khreis, H., C. Kelly, J. Tate, R. Parslow, K. Lucas, and M. Nieuwenhuijsen. 2017. 'Exposure to traffic-related air pollution and risk of development of childhood asthma: A systematic review and meta-analysis', *Environ Int*, 100: 1-31.
- Lin, L. Z., X. L. Zhan, C. Y. Jin, J. H. Liang, J. Jing, and G. H. Dong. 2022. 'The epidemiological evidence linking exposure to ambient particulate matter with neurodevelopmental disorders: A systematic review and meta-analysis', *Environ Res*, 209: 112876.
- Park, J., H-J. Kim, C-H. Lee, C. H. Lee, and H. W. Lee. 2021. 'Impact of long-term exposure to ambient air pollution on the incidence of chronic obstructive pulmonary disease: A systematic review and meta-analysis', *Environmental Research*, 194: 110703.
- Qin, P., X. Luo, Y. Zeng, Y. Zhang, Y. Li, Y. Wu, M. Han, R. Qie, X. Wu, D. Liu, S. Huang, Y. Zhao, Y. Feng, X. Yang, F. Hu, X. Sun, D. Hu, and M. Zhang. 2021. 'Long-term association of ambient air pollution and hypertension in adults and in children: A systematic review and meta-analysis', *Sci Total Environ*, 796: 148620.
- Yang, B. Y., S. Fan, E. Thiering, J. Seissler, D. Nowak, G. H. Dong, and J. Heinrich. 2020. 'Ambient air pollution and diabetes: A systematic review and meta-analysis', *Environ Res*, 180: 108817.
- Yu, P., S. Guo, R. Xu, T. Ye, S. Li, M. R. Sim, M. J. Abramson, and Y. Guo. 2021. 'Cohort studies of long-term exposure to outdoor particulate matter and risks of cancer: A systematic review and meta-analysis', *The Innovation*, 2: 100143.
- Yuan, S., J. Wang, Q. Jiang, Z. He, Y. Huang, Z. Li, L. Cai, and S. Cao. 2019. 'Long-term exposure to PM(2.5) and stroke: A systematic review and meta-analysis of cohort studies', *Environ Res*, 177: 108587.
- Zhu, W., J. Cai, Y. Hu, H. Zhang, X. Han, H. Zheng, and J. Wu. 2021. 'Long-term exposure to fine particulate matter relates with incident myocardial infarction (MI) risks and post-MI mortality: A meta-analysis', *Chemosphere*, 267: 128903.

Annexe 2. Construction des indicateurs de santé

Effets à long terme de la PA

Pathologies respiratoires

1. Incidence du cancer du poumon

La FCR ou RR entre concentrations de PM_{2,5} et risque de cancer du poumon est issue de Yu *et al.*, 2021. Cette méta-analyse a été choisie car :

- elle remplit les deux critères nécessaires de sélection : plus de 20 études sources contributives et un méta-risque estimé statistiquement significatif ;
- elle remplit également trois des cinq critères importants pour la sélection : les études sources ont été réalisées sur différents continents (ici Amérique, Europe et Asie), les études sources contribuent au calcul du méta-risque de façon homogène, et le méta-risque estimé ici est comparable à celui estimé par une autre méta-analyse, contemporaine à celle-ci mais utilisant moins d'études sources.

Dans ces conditions, les preuves de causalité de la relation peuvent être considérées comme solides.

Par ailleurs, la létalité du cancer du poumon est suffisamment élevée (environ 20% de survie à 5 ans) pour que le méta-risque puisse être estimé comme ici à partir d'études sources étudiant l'incidence ou la mortalité indifféremment. Cela permet d'utiliser un plus grand nombre d'études sources et ainsi d'obtenir une estimation plus précise (intervalle de confiance plus étroit) de la FCR.

Ce méta-risque est ainsi estimé à 1,16 [IC95% : 1,10 – 1,23] pour une variation de concentration de PM_{2,5} égale à 10 µg/m³.

Source(s) de données

Plusieurs sources de données peuvent être utilisées pour estimer l'incidence à l'échelle de la France hexagonale :

- 1- Estimations départementales du nombre de cas incidents de cancer des bronches ou du poumon, publiées par Santé publique France et le réseau Francim³¹ ;
- 2- Centre d'épidémiologie des causes médicales de décès (CepiDC), via le SNDS, pour les données de mortalité par cancer des bronches ou du poumon.

Remarque : d'autres sources existent, notamment les registres, mais elles ne couvrent pas de façon homogène l'ensemble du territoire français.

Population considérée

Les études de cohortes utilisées par Yu *et al.* (2021) concernent la population générale, sans distinction d'âge. En effet, le risque relatif restait stable lorsque la méta-analyse était ajustée sur l'âge, le sexe, le tabagisme, le niveau d'éducation, le niveau de revenus et le niveau d'exposition professionnelle.

³¹ Étude collaborative Réseau Francim, Hospices civils de Lyon, Santé publique France et Institut national du cancer <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/cancers/articles/estimations-regionales-et-departementales-de-l-incidence-et-de-la-mortalite-par-cancer-en-france-2007-2016>

Selon les dernières données disponibles en France (2018)³², on observe une augmentation marquée de l'incidence à partir de 40 ans dans les deux sexes au niveau national (Defossez *et al.* 2019).

Figure 1 - Taux d'incidence et de mortalité par cancer du poumon par classe d'âge en France en 2018 (Source Defossez *et al.*, 2019)



Dans ce contexte, la population des 35 ans et plus apparaît être la population à considérer la plus pertinente (Figure 1).

Définition d'un cas

Plusieurs définitions de cas sont utilisées selon le mode choisi de calcul de l'incidence :

- 1- À partir des estimations départementales: un cas est une personne pour laquelle un cancer du poumon, des bronches ou de la trachée (CIM10 : C34) est estimé en calibrant les indicateurs dérivés de bases médico-administratives (ALD et PMSI) par les incidences des départements couverts par un registre de cancer (sur la période 2007-2016).
- 2- À partir des données communales de mortalité : un cas sera une personne décédée pendant la période d'étude et dont la cause initiale de décès sera « Tumeur de la trachée » (CIM10 : C34). Le code correspondant dans la Liste Européenne succincte pour les Causes de Décès (2012) est le code 2.1.8³³.

Afin de rapprocher ces estimations de mortalité d'estimations d'incidence, le groupe de travail du projet EMAPEC propose le calcul de cas incidents à partir du nombre de décès en appliquant à celui-ci le taux de survie national de 20% :

$N_{CI} = 1,25 \times N_{DC}$, N_{CI} étant le nombre de cas incidents et N_{DC} étant le nombre de décès.

³² Étude collaborative Réseau Francim, Hospices civils de Lyon, Santé publique France et Institut national du cancer Estimations nationales de l'incidence et de la mortalité par cancer en France métropolitaine entre 1990 et 2018 - Volume 1 : Tumeurs solides : Étude à partir des registres des cancers du réseau Francim. Disponible sur l'URL : <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/cancers>

³³ RAMON - Reference And Management Of Nomenclatures. Liste Européenne succincte pour les causes de décès, 2012. <https://ec.europa.eu/eurostat/ramon/nomenclatures>

La disponibilité des données, pour l'une ou l'autre approche, restreint le choix des années étudiée :

- 1- À partir des estimations départementales : les taux d'incidence ont été estimés pour les années 2007 à 2016 aux niveaux départementaux ³⁴ (Chatignoux *et al.* 2019)
- 2- À partir des données de mortalité : les données n'étaient disponibles que jusqu'à 2017, ainsi les taux d'incidence communaux ont été estimés en moyenne pour 2015 à 2017.

Disponibilité géographique

Selon le mode de calcul de l'incidence, l'obtention, au niveau communal, du nombre de cas incidents se fera de la façon suivante :

- 1- À partir des estimations départementales :
Le taux d'incidence départemental estimé par sexe a été appliqué aux populations communales par sexe pour obtenir les nombres de cas incidents pour chaque commune.
- 2- À partir de la mortalité :
Les effectifs de décès par cause et par tranche d'âge étaient disponibles au niveau communal pour les années de référence sélectionnées.

Discussion

Lorsque les communes sont situées dans un département couvert par un registre des cancers, les données d'incidence de ce registre sont celles présentant la meilleure qualité. Mais l'ensemble du territoire de France hexagonale n'est pas couvert pour toute la population.

Aussi deux méthodes ont été testées présentant chacune des avantages et des limites. En analyse principale, les calculs d'incidence communale sont effectués à partir des estimations départementales de l'incidence et en analyses de sensibilité, le calcul a été effectué à partir de l'incidence estimée par la mortalité « corrigée » par le taux de survie.

La première, à partir des estimations d'incidence départementale, présente l'avantage d'être robuste car basé sur les données du SNDS et redressée à partir des données des registres. Mais elle ne prend pas en compte les variabilités infradépartementales. Cette variabilité reflète potentiellement celle de plusieurs facteurs dont l'accès aux soins et au dépistage, les structures d'âge, les inégalités sociales, les expositions environnementales et professionnelles autres que la pollution atmosphérique.

La seconde permet d'estimer l'incidence à partir de données de mortalité communales. Cette méthode est d'une part influencée par les faibles effectifs observés dans de nombreuses communes françaises et d'autre part, ne tient pas compte du décalage temporel entre survenue de la maladie et décès. De plus pour cette méthode, le taux de survie appliqué est identique à toutes les communes de France, car les taux de survie à 5 ans sont robustes sur le territoire. Le rapport publié en 2020 sur ce sujet indique en effet une survie nette (non comptés les décès survenus pour une autre cause que le cancer) à 5 ans de 24% pour les femmes et de 18% pour les hommes, de 20% tous sexes confondus (Delafosse *et al.* 2020). Cependant, nous ne pouvons pas exclure quelques variations selon les communes.

Les deux méthodes présentent des résultats proches à l'échelle de la France hexagonale (cf. Annexe 3).

³⁴ <https://www.e-cancer.fr/Expertises-et-publications/Les-donnees-sur-les-cancers/Incidence-et-mortalite-des-cancers/Incidence-et-mortalite-departementales-et-regionales>

Références

- Chatignoux É, Remontet L, Colonna M, Grosclaude P, Decool E, Uhry Z. Estimations régionales et départementales d'incidence et de mortalité par cancers en France, 2007-2016. Évaluation de l'utilisation des données médico-administratives pour estimer l'incidence départementale : comparaison de l'incidence observée et prédite dans les registres sur la période 2007-2014. Saint-Maurice : Santé publique France, 2019. 106 p.
- Defossez, G., S. Le Guyader-Peyrou, Z. Uhry, P. Grosclaude, M. Colonna, E. Dantony, P. Delafosse, F. Molinié, A-S. Woronoff, A-M. Bouvier, N. Bossard, L. Remontet, and A. Monnereau. 2019. "Estimations nationales de l'incidence et de la mortalité par cancer en France métropolitaine entre 1990 et 2018 - Volume 1 : Tumeurs solides : Étude à partir des registres des cancers du réseau Francim." In, 372 p. Saint-Maurice: Santé publique France.
- Delafosse P, Defossez G, Molinié F, D'Almeida T, Lecoffre C, Lafay L *et al.* Survie des personnes atteintes de cancer en France métropolitaine 1989-2018 – Poumon. Boulogne-Billancourt : Institut national du cancer, septembre 2020, 12 p. Disponible à partir des URL : <https://www.e-cancer.fr/> et <https://www.santepubliquefrance.fr>
- Yu, P., S. Guo, R. Xu, T. Ye, S. Li, M. R. Sim, M. J. Abramson, and Y. Guo. 2021. 'Cohort studies of long-term exposure to outdoor particulate matter and risks of cancer: A systematic review and meta-analysis', *The Innovation*, 2: 100143.

2. Incidence de l'asthme chez l'enfant

Des liens entre exposition à la pollution atmosphérique et l'incidence de l'asthme chez l'enfant ont été établis pour les PM_{2,5} et le NO₂. Les FCR issues de la méta-analyse de Khreis *et al.* (2017) et corrigées sont : 1,10 [IC95% : 1,05 ; 1,18] pour une augmentation de 10 µg/m³ de NO₂ et 1,34 [IC95% : 1,10 ; 1,63] pour une augmentation de 10 µg/m³ de PM_{2,5}.

Source(s) de données

Les nouveaux cas d'asthme chez les enfants (0-17 ans) sont approchés par les mises sous traitement pour syndrome obstructifs des voies aériennes, déterminés à partir des données de remboursements des médicaments du DCIR (SNDS).

Population considérée

La classe d'âge (âge atteint dans l'année) considérée est la suivante : 0 ≤ âge ≤ 17 ans.

Définition d'un cas

Dans la majorité des études, les cas sont identifiés si un des trois critères suivants ou une combinaison de ces critères s'applique (déclaré par questionnaire) :

- Asthme diagnostiqué par un médecin ;
- Respiration sifflante dans les douze derniers mois ;
- Prescription de médicaments antiasthmatiques dans les douze derniers mois.

Dans notre étude, la définition d'un cas se fait comme suit : au moins 3 dates de délivrance d'au moins un médicament de la liste de médicaments préétablie³⁵ (cf. liste des codes ATC ci-après) dans l'année ET strictement moins de 3 dates de délivrance d'au moins un médicament de la liste considérée durant les années antérieures (jusqu'à 3 ans). Nous avons ensuite calculé le nombre moyen annuel des cas incidents pour les années 2016, 2017, 2018 et 2019.

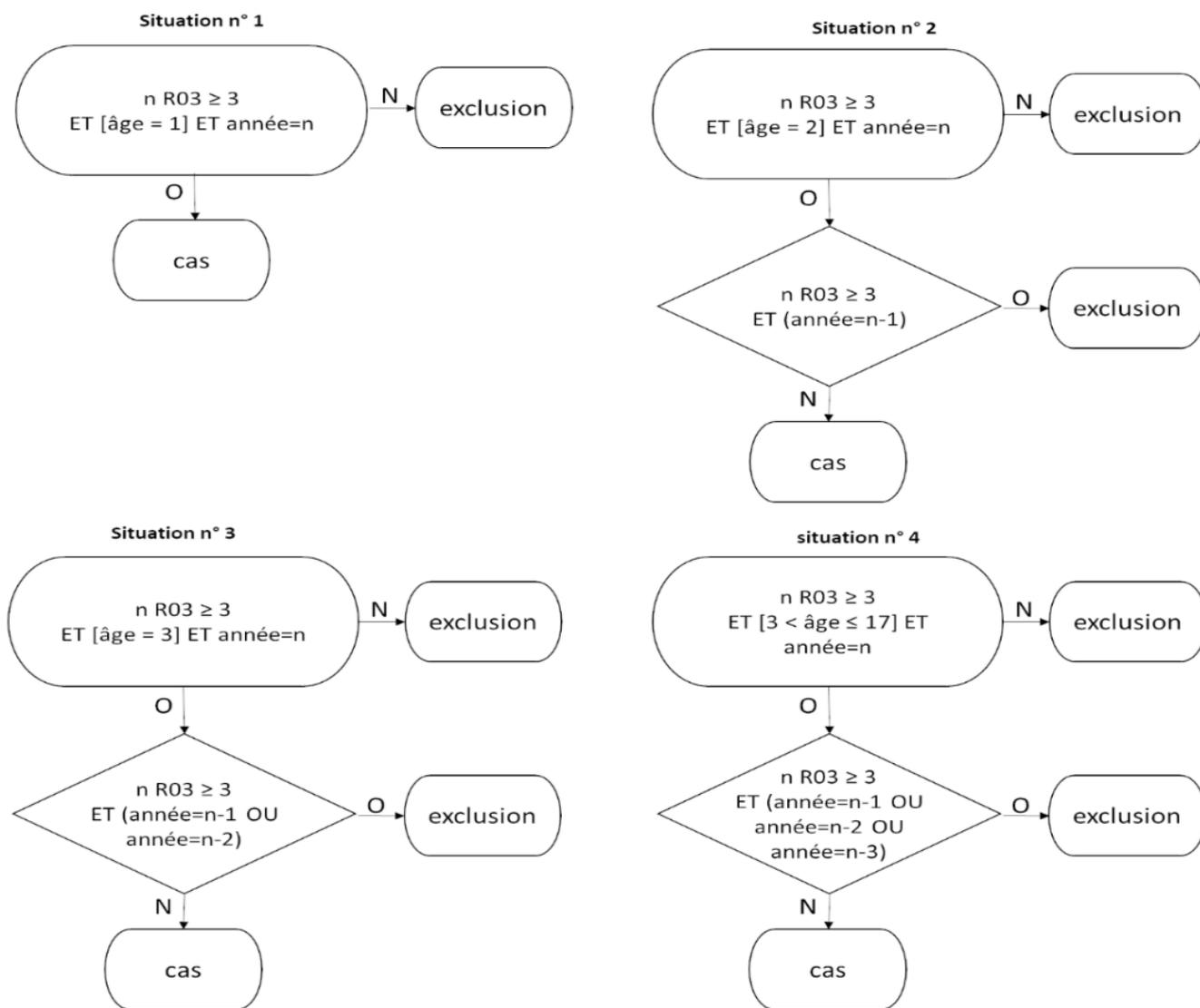
Quatre situations sont considérées avec pour exemple l'année de référence 2019 :

- Situation n° 1 : Chez les individus d'âge atteint dans l'année de 1 an, sont considérés comme cas incidents tous les cas prévalents ;
- Situation n° 2 : Pour les individus d'âge atteint dans l'année de 2 ans, sont considérés comme cas incidents uniquement les cas prévalents en 2019 qui ont eu strictement moins de 3 dates de délivrance en 2018 ;
- Situation n° 3 : Pour les individus d'âge atteint dans l'année de 3 ans, sont considérés comme cas incidents uniquement les cas prévalents en 2019 qui ont eu strictement moins de 3 dates de délivrance en 2018 et 2017 ;
- Situation n° 4 : Pour les individus d'âge atteint dans l'année strictement supérieur à 3 ans, sont considérés comme cas incidents uniquement les cas prévalents en 2019 qui ont eu strictement moins de 3 dates de délivrance en 2018, 2017 et 2016.

Les logigrammes ci-après résument ces quatre situations :

³⁵ Si des médicaments de la liste sont délivrés le même jour, on ne compte qu'une délivrance.

Figure 2 - Logigramme de définition des cas incidents d'asthme pour quatre situations



R03 : remboursement de « médicaments pour syndromes obstructifs des voies aériennes » (voir liste parmi classe thérapeutique R03)

Tableau 2 – Liste des codes ATC utilisés

Classes thérapeutiques	PHA_ATC_CLA	PHA_ATC_LIB
β ₂ -mimétiques inhalés	R03AC02	SALBUTAMOL
	R03AC03	TERBUTALINE
	R03AC04	FENOTEROL
	R03AC08	PIRBUTEROL
	R03AC12	SALMETEROL
	R03AC13	FORMOTEROL
	R03AC18	INDACATEROL
	R03AC19	OLODATEROL
Associations de bronchodilatateurs de courte durée d'action (β ₂ -mimétiques+anticholinergique courte durée) (<i>inhalés</i>)	R03AK03	FENOTEROL ET AUTRES MEDICAMENTS PR SYNDROMES OBSTRUCTIFS VOIES AERIENNES
	R03AK04	SALBUTAMOL ET AUTRES ANTI-ASTHMATIQUES
β ₂ -mimétiques en association avec des corticoïdes (<i>inhalés</i>)	R03AK06	SALMETEROL + FLUTICASONE
	R03AK07	FORMOTEROL + BUDESONIDE
	R03AK08	FORMOTEROL + BECLOMETASONE
	R03AK10	VILANTEROL + FLUTICASONE FUROATE
	R03AK11	FORMOTEROL + FLUTICASONE
	R03AK14	INDACATEROL + MOMETASONE
Associations de bronchodilatateurs de longue durée d'action (avec ou sans corticoïdes) (<i>inhalés</i>)	R03AL01	FENOTEROL + IPRATROPIUM BROMURE
	R03AL03	VILANTEROL + UMECLIDINIUM BROMURE
	R03AL04	INDACATEROL + GLYCOPYRRONIUM BROMURE
	R03AL08	VILANTEROL + UMECLIDINIUM + FLUTICASONE
	R03AL09	FORMOTEROL + GLYCOPYRRONIUM BROMURE + BECLOMETASONE
	R03AL11	FORMOTEROL + GLYCOPYRRONIUM BROMURE + BUDESONIDE
	R03AL12	INDACATEROL + GLYCOPYRRONIUM BROMURE + MOMETASONE
Corticoïdes inhalés	R03BA01	BECLOMETASONE
	R03BA02	BUDESONIDE
	R03BA03	FLUNISOLIDE
	R03BA05	FLUTICASONE
	R03BA07	MOMETASONE
	R03BA08	CICLESONIDE
Anticholinergiques inhalés	R03BB01	IPRATROPIUM BROMURE
	R03BB04	TIOTROPIUM BROMURE
	R03BB06	GLYCOPYRRONIUM BROMURE
	R03BB07	UMECLIDINIUM
	R03BB54	TIOTROPIUM BROMURE EN ASSOCIATION
Cromones	R03BC01	CROMOGLICIQUE ACIDE
	R03BC03	NEDOCROMIL
β ₂ -mimétiques systémiques	R03CC02	SALBUTAMOL
	R03CC03	TERBUTALINE
	R03CC12	BAMBUTEROL
Xanthines	R03DA01	DIPROPHYLLINE
	R03DA04	THEOPHYLLINE
	R03DA05	AMINOPHYLLINE
	R03DA08	BAMIFYLLINE
	R03DA51	DIPROPHYLLINE EN ASSOCIATION
	R03DA54	THEOPHYLLINE EN ASSOCIATION SAUF AUX PSYCHOLEPTIQUES
	R03DA74	THEOPHYLLINE EN ASSOCIATION AVEC DES PSYCHOLEPTIQUES
Antileucotriènes	R03DC03	MONTELUKAST
Anticorps monoclonaux	R03DX05	OMALIZUMAB
	R03DX09	MEPOLIZUMAB
	R03DX10	BENRALIZUMAB

Disponibilité géographique

Cet indicateur a pu être construit à la commune de résidence (dernière adresse référencée dans le DCIR pour l'année considérée).

Discussion

Les médicaments pour syndromes obstructifs des voies aériennes ne sont pas spécifiques de l'asthme (ils peuvent être prescrits pour d'autres pathologies chroniques des voies aériennes, mais aussi pour des pathologies aiguës). Afin d'améliorer la spécificité de l'indicateur, il a été proposé de sélectionner la mise en route d'un traitement au long cours (au moins 3 délivrances dans l'année), mais cette amélioration de la spécificité se fait au détriment de la sensibilité (les asthmes intermittents avec prise d'un bronchodilatateur à la demande ne sont pas pris en compte). Par ailleurs, il n'est pas exclu de considérer, à tort, certains cas comme incidents suite à une mise sous traitement au long cours alors qu'ils bénéficiaient jusqu'à présent d'un traitement à la demande.

Notre algorithme de définition des cas sélectionne les enfants traités pour des symptômes respiratoires récurrents (*recurrent wheeze*) de la petite enfance dont seulement un tiers environ évolue vers un asthme. Toutefois, notre algorithme ne prend pas en compte les traitements instaurés chez les enfants nés au cours de l'année considérée (âge atteint dans l'année de 0 an).

Concernant la stabilité de l'indicateur, les recommandations pour la prise en charge de l'asthme évoluent au cours du temps et de nouveaux médicaments sont régulièrement mis sur le marché. Ainsi, la liste des médicaments utilisée doit être régulièrement mise à jour.

L'indicateur sélectionné doit être considéré comme étant, au vu des données disponibles en France (Tuppin *et al.* 2021), la meilleure approximation possible de l'incidence de l'asthme persistant traité chez l'enfant.

Références

- HEI Panel on the Health Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution. 2022. "Systematic Review and Meta-analysis of Selected Health Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution. ." In.: Special Report 23. Boston, MA:Health Effects Institute.
- Khreis, H., C. Kelly, J. Tate, R. Parslow, K. Lucas, and M. Nieuwenhuijsen. 2017. 'Exposure to traffic-related air pollution and risk of development of childhood asthma: A systematic review and meta-analysis', *Environ Int*, 100: 1-31.
- Tuppin, P., A. S. Aguadé, S. Guillo, C. Gastaldi, and C. Taillé. 2021. 'Evaluation of drug deliveries and refunds for obstructive airway diseases in France between 2012 and 2017', *Respir Med Res*, 80: 100854.

3. Incidence de l'asthme chez l'adulte

Des liens entre exposition à la pollution atmosphérique et l'incidence de l'asthme chez l'adulte ont été établis de façon robuste pour le NO₂ par la revue systématique du *Health Effect Institute* (HEI 2022) et sont confirmés par des résultats plus récents issus de l'étude ELAPSE (Liu *et al.*, 2021).

Ainsi, la FCR de 1,10 [IC95% : 1,01 ; 1,21] pour une augmentation de 10 µg/m³ de NO₂ établie par le HEI a été retenue (HEI 2022) dans le projet EMAPEC.

Source(s) de données

Les nouveaux cas d'asthme chez l'adulte sont approchés par les mises sous traitement pour syndrome obstructif des voies aériennes, déterminés à partir des données de remboursements des médicaments (DCIR).

Population considérée

La classe d'âge (âge atteint dans l'année) considérée est la suivante : âge supérieur ou égal à 18 ans et inférieur à 40 ans.

Définition d'un cas

La définition d'un cas se fait comme suit : personnes ayant reçu dans l'année n (à différentes dates³⁶) au moins trois délivrances d'au moins un médicament de la liste de médicaments préétablie (idem liste codes ATC établie pour l'incidence de l'asthme de l'enfant) ET strictement moins de 3 dates de délivrance d'au moins un médicament de la liste considérée durant les années antérieures (jusqu'à 5 ans). Nous avons ensuite calculé le nombre moyen annuel des cas incidents pour les années 2016, 2017, 2018 et 2019.

Disponibilité géographique

Cet indicateur a pu être construit à la commune de résidence (*dernière adresse référencée dans la base DCIR pour l'année de référence*).

Discussion

Pour rappel, les médicaments pour syndromes obstructifs des voies aériennes ne sont pas spécifiques de l'asthme, en particulier, ils sont prescrits pour d'autres pathologies chroniques des voies aériennes telle que la BPCO, qui est une maladie peu fréquente avant l'âge de 40 ans. C'est pourquoi la catégorie d'âge a été restreinte aux adultes de moins de 40 ans.

Par ailleurs, ces médicaments sont également prescrits pour des pathologies aiguës. C'est pourquoi le critère de chronicité du traitement (au moins 3 délivrances dans l'année) a été appliqué afin de réduire ce manque de spécificité. Toutefois cela réduit la sensibilité de l'indicateur (les asthmes intermittents avec, comme seul traitement, la prise d'un bronchodilatateur à la demande ne sont par exemple pas pris en compte).

Le recul de 5 ans pris en compte pour cibler les cas incidents chez l'adulte ne permet pas de distinguer les cas incidents des réactivations de l'asthme après rémission. Par exemple, un asthme déclaré dans l'enfance peut ne plus nécessiter de traitement pendant une longue période et réapparaître plus tard à l'âge adulte. Ces cas seront alors considérés comme incidents.

L'indicateur sélectionné doit être considéré comme étant, au vu des données disponibles en France (Tuppin *et al.* 2021), la meilleure approximation possible de l'incidence de l'asthme persistant traité chez l'adulte.

³⁶ Si des médicaments de la liste sont délivrés le même jour, on ne compte qu'une délivrance.

Références

- HEI Panel on the Health Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution. 2022. "Systematic Review and Meta-analysis of Selected Health Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution. ." In.: Special Report 23. Boston, MA:Health Effects Institute.
- Liu, S., J. T. Jørgensen, P. Ljungman, G. Pershagen, T. Bellander, K. Leander, P. K. E. Magnusson, D. Rizzuto, U. A. Hvidtfeldt, O. Raaschou-Nielsen, K. Wolf, B. Hoffmann, B. Brunekreef, M. Strak, J. Chen, A. Mehta, R. W. Atkinson, M. Bauwelinck, R. Varraso, M. C. Boutron-Ruault, J. Brandt, G. Cesaroni, F. Forastiere, D. Fehcht, J. Gulliver, O. Hertel, K. de Hoogh, N. A. H. Janssen, K. Katsouyanni, M. Ketzel, J. O. Klompmaker, G. Nagel, B. Oftedal, A. Peters, A. Tjønneland, S. P. Rodopoulou, E. Samoli, D. T. Kristoffersen, T. Sigsgaard, M. Stafoggia, D. Vienneau, G. Weinmayr, G. Hoek, and Z. J. Andersen. 2021. 'Long-term exposure to low-level air pollution and incidence of asthma: the ELAPSE project', *Eur Respir J*, 57.
- Tuppin, P., A. S. Aguadé, S. Guillo, C. Gastaldi, and C. Taillé. 2021. 'Evaluation of drug deliveries and refunds for obstructive airway diseases in France between 2012 and 2017', *Respir Med Res*, 80: 100854.

4. Incidence de la BPCO

Des liens entre exposition aux PM_{2,5} et incidence de la BPCO (J41-44) chez l'adulte (35 ans et plus) ont été établis. Les FCR pour une augmentation de 10 µg/m³ de PM_{2,5}, issues de la méta-analyse de Park *et al.* (2021) sont ceux retenus : 1,18 [1,13 ; 1,23] (liste A). Dans cette méta-analyse, l'inclusion des cas comme BPCO est basée sur des sources d'information différentes d'une étude à l'autre : exploration fonctionnelle respiratoire, questionnaire, diagnostic médical, hospitalisation.

La BPCO est une pathologie très largement sous-diagnostiquée en France, avec 80% des cas non diagnostiqués. Il s'agit d'une maladie méconnue de la population, dont les symptômes sont souvent banalisés (« toux du fumeur ») et dont la dyspnée, d'installation insidieuse, conduit le patient à réduire progressivement son activité en conséquence. Son diagnostic (qui repose sur une mesure de la fonction respiratoire mettant en évidence un trouble ventilatoire obstructif non complètement réversible) est le plus souvent porté lorsque la maladie est à un stade avancé. D'après les données déclaratives recueillies à l'inclusion dans la cohorte Constances, la prévalence de la BPCO diagnostiquée chez l'adulte est estimée à 1,5% en 2017 (source : projet DMNTT « French burden of diseases »).

Source(s) de données

Estimation de la prise en charge de la BPCO, à partir des données du SNDS, par chaînage des :

- données de remboursements de médicaments (DCIR).
- données d'hospitalisation en médecine, chirurgie et obstétrique (MCO), disponibles dans le SNDS depuis 2005.

Population considérée

La classe d'âge (âge atteint dans l'année) considérée est la suivante : âge supérieur ou égal à 40 ans.

Définition d'un cas

Personnes hospitalisées au cours de l'année n en MCO avec un code diagnostique (en DP, DR ou DA J43 (Emphysème) ou J44 (Autres maladies pulmonaires obstructives chroniques) **ET/OU** ayant reçu dans l'année n (à différentes dates), au moins trois délivrances³⁷ d'anticholinergiques inhalés de longue durée d'action (liste ci-après).

Et

Au cours des cinq années précédentes, n'ayant aucune hospitalisation avec un diagnostic (DP, DR ou DA) codé J43 ou J44, et ayant reçu strictement moins de 3 délivrances d'anticholinergiques inhalés de longue durée d'action.

Nous avons ensuite calculé le nombre moyen annuel de cas incidents sur la période 2016-2019.

³⁷ Si des médicaments de la liste sont délivrés le même jour, on ne compte qu'une délivrance.

Tableau 3 – Liste des codes ATC utilisés

Catégorie	Code ATC	Libellé
Anticholinergiques de longue durée d'action inhalés	R03BB04	TIOTROPIUM BROMURE
	R03BB06	GLYCOPYRRONIUM BROMURE
	R03BB07	UMECLIDINIUM
Associations de bronchodilatateurs de longue durée d'action avec anticholinergiques de longue durée d'action (<i>inhalés</i>)	R03BB54	TIOTROPIUM BROMURE EN ASSOCIATION
	R03AL03	VILANTEROL + UMECLIDINIUM BROMURE
	R03AL04	INDACATEROL + GLYCOPYRRONIUM BROMURE
Associations de bronchodilatateurs de longue durée d'action avec anticholinergiques de longue durée d'action et corticoïdes (<i>inhalés</i>)	R03AL08	VILANTEROL + UMECLIDINIUM + FLUTICASONE
	R03AL09	FORMOTEROL + GLYCOPYRRONIUM BROMURE + BECLOMETASONE

Disponibilité géographique

Cet indicateur a pu être construit à la commune de résidence (*dernière adresse référencée dans la base DCIR pour l'année considérée*).

Discussion

Il est estimé qu'environ 80% des BPCO ne sont pas diagnostiquées (Lamprecht *et al.* 2019).

Deux sources de données ont été utilisées pour identifier une majorité de cas incidents. En effet, le PMSI ne permet de repérer qu'une part des patients ayant une BPCO. Le diagnostic de BPCO et le suivi des patients peuvent être faits en consultation (consultation de ville ou consultation hospitalière). Les exacerbations de BPCO ne surviennent que chez une partie des patients atteints de BPCO et les hospitalisations pour exacerbation de BPCO ne concernent que les exacerbations les plus sévères.

À noter que les codes J41 (Bronchite chronique simple et mucopurulente) et J42 (Bronchite chronique, sans précision) n'ont pas été retenus car il s'agit de bronchites chroniques non obstructives et la bronchite chronique non obstructive (toux et expectoration chroniques) n'est pas synonyme de BPCO, même si avant de devenir une BPCO, la personne passe nécessairement par le stade bronchite chronique. C'est pourquoi les cas ont été restreints aux codes J43 et J44.

Il n'existe pas de traitement spécifique de la BPCO, les médicaments utilisés (médicaments pour syndromes obstructifs des voies aériennes) étant également prescrits pour d'autres maladies respiratoires chroniques (l'asthme, notamment) mais aussi pour des pathologies aiguës. Cependant, afin d'améliorer la spécificité de l'indicateur, nous avons d'une part, sélectionné les traitements au long cours (≥ 3 délivrances dans l'année) et, d'autre part, restreint aux traitements par anticholinergiques de longue durée d'action. Cette stratégie permet d'améliorer la spécificité de l'algorithme de définition des cas mais inclura malgré tout des asthmes sévères. D'autre part, les BPCO les moins sévères, qui ont comme seul traitement la prise d'un bronchodilatateur à la demande, ne sont pas prises en compte, ce qui peut conduire à une sous-estimation de l'incidence.

Références

- Lamprecht, B., J. B. Soriano, M. Studnicka, B. Kaiser, L. E. Vanfleteren, L. Gnatiuc, P. Burney, M. Miravittles, F. García-Río, K. Akbari, J. Ancochea, A. M. Menezes, R. Perez-Padilla, M. Montes de Oca, C. A. Torres-Duque, A. Caballero, M. González-García, and S. Buist. 2015. 'Determinants of Underdiagnosis of COPD in National and International Surveys', *CHEST*, 148: 971-85.
- Park, J., H-J. Kim, C-H. Lee, C. H. Lee, and H. W. Lee. 2021. 'Impact of long-term exposure to ambient air pollution on the incidence of chronic obstructive pulmonary disease: A systematic review and meta-analysis', *Environmental Research*, 194: 110703.

5. Incidence d'infections aiguës des voies respiratoires inférieures (ALRI)

Les infections aiguës des voies respiratoires inférieures comprennent la pneumonie (infection des alvéoles pulmonaires) et les infections affectant les voies respiratoires inférieures, telles que la bronchite aiguë et la bronchiolite chez l'enfant.

Des liens entre exposition à la PA et l'incidence d'ALRI ont été bien établis pour le NO₂, pas pour les PM_{2,5}, et pour l'enfant, pas pour l'adulte. Ainsi la revue systématique du Health Effect Institute (HEI 2022) fournit des résultats de la méta-analyse basés sur un grand nombre d'études provenant de diverses régions, avec une bonne distribution des poids et une faible hétérogénéité, et a justifié la confiance dans les preuves disponibles. Ainsi, la FCR de 1,09 [IC95% : 1,03 ;1,16] pour une augmentation de 10 µg/m³ de l'exposition à long terme au NO₂ de l'enfant établie par le HEI a été retenue (HEI 2022) dans le projet EMAPEC.

Source(s) de données

Les cas incidents d'ALRI sont estimés à partir des hospitalisations pour ALRI dans la base PMSI du SNDS.

Population considérée

La classe d'âge (âge atteint dans l'année) considérée est la suivante : âge compris entre 0 et 12 ans tel que recommandé par le projet EMAPEC.

Définition d'un cas

Tout enfant ayant été hospitalisé avec un code diagnostique d'ALRI en diagnostic principal ou diagnostic relié du séjour (CIM10 : J12 – J18, J20 – J22) au cours de la période d'étude est considéré comme un cas incident d'ALRI.

Disponibilité géographique

Concernant la résolution géographique des indicateurs, l'indicateur a été construit à l'échelle communale de résidence du patient puis moyenné sur la période d'étude.

Discussion

Toutes les hospitalisations pour ALRI pour la classe d'âge retenue sont considérées comme des cas incidents compte tenu de la nature aiguë de la pathologie. En effet, étant donné son caractère infectieux, on considère que toute nouvelle infection survient indépendamment d'une autre infection qui aurait pu survenir au préalable chez un même individu, même en cas d'infections répétées (HEI, 2022). Ainsi, on quantifie le nombre de cas d'événements d'ALRI attribuables à l'exposition chronique à la pollution de l'air.

La définition de l'ALRI ainsi que sa codification dans le PMSI sont bien établies. L'algorithme d'identification de ces pathologies dans le SNDS a été développé par Santé publique France. Il repose sur les tables du PMSI et les codes CIM10 J12 – J18, J20 – J22.

L'indicateur d'incidence construit ici est aussi proche que possible de ceux utilisés dans les études épidémiologiques ayant fourni la FCR.

Référence

HEI Panel on the Health Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution. 2022. "Systematic Review and Meta-analysis of Selected Health Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution. ." In.: Special Report 23. Boston, MA:Health Effects Institute.

Pathologies cardiovasculaires

1. Incidence d'accident vasculaire cérébral (AVC)

Des liens entre exposition à la PA et l'incidence d'AVC chez les adultes de 30 ans et plus ont été établis pour les PM_{2,5}. La FCR de Yuan *et al.* 2019 a été retenue par EMAPEC qui a recalculé un nouveau méta-risque : 1,16 (IC95% : 1,12-1,20) pour une augmentation de 10 µg/m³ de PM_{2,5}.

Source de données

Les cas incidents d'AVC sont estimés à partir des hospitalisations pour AVC disponibles dans la base PMSI du SNDS.

Population considérée

En France, l'incidence des AVC est souvent considérée comme négligeable avant l'âge de 35 ans, la prévalence des principaux facteurs de risque d'AVC (en dehors du tabac) augmentant avec l'âge (hypertension artérielle, hypercholestérolémie, diabète, obésité et arythmie cardiaque)³⁸.

Définition d'un cas

Un cas incident d'AVC est une personne ayant été hospitalisée avec un code diagnostique d'AVC en diagnostic principal ou diagnostic relié du séjour (CIM10 : I60-I64) ou d'une unité médicale au cours de la période d'étude ET n'ayant jamais été hospitalisé pour un AVC durant les dix années antérieures (depuis 2006 : recul le plus important de disponibilité de la base dans le SNDS). Si pour un patient, il y a plusieurs hospitalisations pour AVC au cours de la période d'étude, la date de la première hospitalisation pour AVC est prise en compte. Ensuite, la moyenne annuelle des cas incidents pour les années 2016 à 2019 a été calculée.

Disponibilité géographique

Concernant la résolution géographique des indicateurs, l'objectif est de les construire à l'échelle de la commune de résidence du patient.

S'agissant des données d'hospitalisation enregistrées par le Programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI), le code Insee (ou code commune) de la commune de résidence des patients hospitalisés n'est pas disponible. Les données du PMSI n'enregistrent en effet que le code postal de résidence ou un code spécifique regroupant plusieurs codes postaux (lorsque les populations des communes constituant le code postal sont trop petites pour le respect de la protection des données individuelles). Ce code est appelé « code géographique PMSI ». Néanmoins, pour attribuer un code Insee (ou code commune) à chaque patient hospitalisé, les données des bases DCIR de l'année de référence peuvent être utilisées grâce au numéro anonyme associé aux patients dans les différentes bases. Pour cela, la procédure suivante a été appliquée :

- Étape 1 : Si le code géographique PMSI correspond à une seule commune, le code Insee correspondant en utilisant la table **PMSI_CORRESP** du répertoire **rfcommun** du Système national des données de santé (SNDS) a été utilisé.
- Étape 2 : si le code géographique PMSI correspond à plusieurs communes :
 - o les tables des « consommateurs » par année **EXTRACTION_PATIENTSaaaaTR**, du répertoire **CONSOPAT** du SNDS comportant une clé de chaînage ont été utilisées. Ces tables décrivent les variables sociodémographiques des personnes ayant eu au moins une consommation de soins dans l'année. La date de traitement du remboursement est comprise entre le 1er janvier de l'année et le 30 juin de l'année

³⁸ <https://www.accidentvasculairecerebral.fr/tous-concernes>

suivante. Dans ces tables, le code Insee du consommant indiqué est celui de la dernière information disponible de l'année. On peut alors faire le lien patient-commune-code géographique PMSI pour les bénéficiaires ayant eu au moins une consommation dans les 3 années : N, N-1 et N+1.

- Pour les patients sans code Insee rattaché après l'utilisation des tables des « consommateurs », les bases par année CORRECTION_COMMUNE_DCIR_aaaa12 mises à disposition par la CNAM ont été utilisées. Dans ces bases est renseignée la commune de chaque patient à la dernière date de traitement des flux (date technique qui correspond à la date à laquelle l'organisme a envoyé le flux au traitement DCIR).

L'analyse principale a été effectuée sur les seuls cas pour lesquels le code géographique PMSI et le code Insee étaient concordants. Cela a permis de s'assurer que sont bien comptabilisés les cas correspondant à une commune donnée et ainsi de réduire les erreurs de classification de l'exposition. Une analyse de sensibilité incluant tous les patients, qu'il y ait ou non eu concordance entre le code géographique PMSI et le code Insee, a été également réalisée. Cette analyse a permis de rajouter 6% de cas d'AVC.

Discussion

Un algorithme d'identification de l'AVC dans le SNDS a été développé par Santé publique France. Il repose sur les tables du PMSI, et les codes CIM10 I60-I64.

Cet indicateur permet d'identifier de façon fiable l'incidence d'AVC car la majorité des personnes faisant un AVC sont hospitalisées. Entre 1 à 3 % des personnes faisant un AVC décèdent avant leur arrivée à l'hôpital. Les résidents d'Ehpad ne sont pas systématiquement hospitalisés en cas d'AVC et peuvent également ne pas être comptés.

Une personne peut faire plusieurs AVC au cours de sa vie et un AVC peut entraîner plusieurs hospitalisations dans l'année qui suit. Aussi seule la première hospitalisation depuis 2006 a été prise en compte. Si la personne a été hospitalisée avant 2006, il n'est pas possible de savoir si l'hospitalisation pour AVC est la première ou bien s'il s'agit d'une récurrence.

L'indicateur d'incidence d'AVC construit ici est aussi proche que possible de ceux utilisés dans les études épidémiologiques ayant fourni la FCR. Ces études se basent sur des cohortes et prennent en compte le premier AVC au cours de la période de suivi de la cohorte.

Quant à la stabilité de l'indicateur, la pratique diagnostique est stable dans le temps, la définition de l'AVC étant bien établie, tout comme sa codification dans le PMSI.

Référence

Yuan, S., J. Wang, Q. Jiang, Z. He, Y. Huang, Z. Li, L. Cai, and S. Cao. 2019. 'Long-term exposure to PM(2.5) and stroke: A systematic review and meta-analysis of cohort studies', *Environ Res*, 177: 108587.

2. Incidence d'infarctus aigu du myocarde (IAM)

La revue systématique (Zhu *et al.*, 2021) retenue par le projet EMAPEC résume les études sur l'exposition à long terme aux PM_{2,5} et un premier épisode d'infarctus aigu du myocarde (IAM) chez les 20 ans et plus sans antécédents d'IAM. La FCR retenue pour le risque incident d'IAM dans notre étude a été recalculée dans EMAPEC : 1,129 [IC95% : 1,001, 1,272] pour une augmentation de 10 µg/m³ de PM_{2,5}.

Source(s) de données

Les cas incidents d'IAM ont été estimés à partir des hospitalisations pour IAM disponibles dans la base PMSI du SNDS.

Population considérée

La classe d'âge considérée était à l'âge atteint dans l'année de l'hospitalisation, celle des 35 ans et plus.

Définition d'un cas

Un cas incident d'IAM est une personne ayant été hospitalisée pour la première fois pour un infarctus aigu du myocarde en diagnostic principal ou diagnostic relié du séjour ou d'unité médicale (CIM-10 I21- I23 + I20.0+0 jusqu'en 2016) ou un diagnostic associé d'infarctus aigu du myocarde (I21) au cours de la période d'étude

ET

n'ayant donc jamais été hospitalisé pour IAM durant les 10 années antérieures (depuis 2006 : recul le plus important de disponibilité de la base dans le SNDS). Si plusieurs hospitalisations pour IAM au cours de la période d'étude, la date de la première hospitalisation pour IAM est prise en compte.

Ensuite, la moyenne annuelle des cas incidents pour les années 2016 à 2019 a été calculée.

Disponibilité géographique

Cet indicateur a pu être construit à la commune de résidence (*dernière adresse référencée dans la base DCIR pour l'année de référence*) en appliquant la même méthode que pour les cas d'AVC.

Discussion

Il existe un algorithme d'identification des IAM dans le SNDS. Il repose sur les tables du PMSI et les codes CIM10 I21- I23 + I20.0+0. Ces données sont disponibles depuis 2006.

Il n'est pas possible d'intégrer les IAM non hospitalisées dans le calcul d'incidence (données non disponibles), ce qui peut conduire à une sous-estimation du nombre de cas.

L'incidence est calculée sur une période de 10 ans. Si la personne a été hospitalisée avant 2006, on ne peut pas savoir si l'hospitalisation pour IAM est la première ou bien une récurrence, ce qui peut conduire à une surestimation marginale du nombre de cas.

Il est à noter qu'actuellement, l'indicateur le plus utilisé n'est plus l'IAM (I21- I23 + I20.0+0) mais le syndrome coronaire aigu (I20-I24) qui correspond à la définition clinique utilisée aujourd'hui. Cependant nous avons choisi de rester le plus proche possible de l'indicateur de santé construit pour la FCR.

Il n'a pas été possible de construire l'incidence de manière parfaitement équivalente à la définition de l'étude fournissant la FCR : la méta-analyse retenue agrège des résultats provenant d'études ayant construit l'indicateur d'incidence de différentes façons. Cela génère, comme pour toutes les FCR en morbidité, une certaine incertitude concernant la transposabilité de la FCR, qui n'est ni quantifiable ni

qualifiable. Cela dit, la pratique diagnostique pour cet indicateur et la définition de l'IAM sont bien établies, avec cependant une évolution du codage en 2016-2017 (ATIH 2017).

Référence

ATIH. Fascicule de codage pour le PMSI. Syndrome coronarien. 2017. <https://www.atih.sante.fr>

Zhu, W., J. Cai, Y. Hu, H. Zhang, X. Han, H. Zheng, and J. Wu. 2021. 'Long-term exposure to fine particulate matter relates with incident myocardial infarction (MI) risks and post-MI mortality: A meta-analysis', *Chemosphere*, 267: 128903.

3. Hypertension artérielle

La FCR retenue par EMAPEC est celle proposée par Qin et al en 2021. Les auteurs ont effectué une revue systématique (RS) de la littérature sur les liens entre exposition aux PM_{2,5} et hypertension artérielle (HTA) puis réalisé une méta-analyse sur 37 des études examinées. Dans ces études, la présence d'une hypertension était soit autodéclarée, soit établie à partir de mesures, de diagnostics médicaux ou d'enregistrements de la pression artérielle sur 24 heures.

Le méta-risque estimé sur les 37 études était de 1,10 [IC95% : 1,07 ; 1,14] pour chaque augmentation de 10 µg/m³ de PM_{2,5}. Ce méta-risque était de 1,18 [IC95% : 1,05 ; 1,31] lorsque la méta-analyse était limitée aux 18 études de cohorte. Dans les 2 cas, le I² qui mesure l'hétérogénéité des études est supérieur à 90 %. Lorsque l'analyse a été restreinte aux cinq études dans lesquelles la pression artérielle était mesurée et non simplement déclarée, l'estimation centrale de la FCR était plus faible que précédemment mais avec un intervalle de confiance plus étroit : 1,05 [IC95% : 1,01-1,08]. De plus, l'hétérogénéité était limitée (I² = 7 %) et les différences dans les estimations du risque entre les régions n'étaient pas significatives. Lorsque les données d'entrée de la RS de Qin *et al.* (2021) ont été vérifiées par EMAPEC, il est apparu que les 7 estimations de risque de l'article de Fuks *et al.* (2014) ainsi que celle de Lin *et al.* (2017) étaient basées sur des données de prévalence. La méta-analyse réalisée après leur exclusion, en utilisant les données des 10 études restantes, a fourni une estimation de 1,167 [IC95% 1,048, 1,299] avec toujours une forte hétérogénéité des études (I²=96 %).

Les deux critères clés EMAPEC de l'évaluation de la RS sont remplis (grand nombre d'études et signification statistique de l'estimation). Deux critères importants sur cinq sont remplis (études provenant de différents continents et bonne répartition des poids entre les études). Toutefois, la précision de l'estimation du risque est faible et, lorsque les études portant sur l'hypertension définie par autodéclaration sont incluses, une forte hétérogénéité des études est observée. Les études les plus récentes, incluses dans la RS de Zhao et al (2022) étaient cohérentes avec les observations précédentes.

Compte tenu de la faible hétérogénéité entre les résultats des études définissant l'hypertension à partir de la mesure de la pression artérielle ou du diagnostic d'un médecin, la qualité des preuves de l'association entre l'incidence de l'hypertension et l'exposition à long terme aux PM_{2,5} peut être qualifiée de forte. La FCR pour l'hypertension mesurée est donc retenue et classé en liste A : 1,05 [IC95% : 1,01-1,08] pour une augmentation de 10 µg/m³ des PM_{2,5}.

Source(s) de données

Données des bases du DCIR dans le SNDS.

Population considérée

Population adulte (patients de 18 ans et plus).

Définition d'un cas

Un algorithme existe et est tiré de la dernière version de la cartographie des pathologies et des dépenses des CPAM, version G9 (années 2015-2020, tous régimes, mise à jour : juin 2022) qui permet d'extraire les données du SNDS (cf: algorithme décrit dans sa version originale). Cet algorithme comprend toutes les HTA traitées, compliquées ou non³⁹.

³⁹ https://assurance-maladie.ameli.fr/sites/default/files/2022_methode-reperage-pathologies_cartographie_0.pdf

Un cas incident d'HTA traité est défini chez un adulte de 18 ans et plus :

- Ayant reçu au moins 3 délivrances de médicaments spécifiques à différentes dates dans l'année n, et en cas de grands conditionnements⁴⁰, au moins 1 grand et 1 petit, ou 2 grands ;
- ET strictement aucune délivrance l'année précédente ;

La liste comprend l'ensemble des médicaments remboursable ayant une indication thérapeutique dans le traitement de l'hypertension artérielle (et l'historique depuis le 1er janvier 2000), à savoir les médicaments à action antihypertensive de la classification anatomique, thérapeutique et chimique (ATC) commençant par les codes C02, C03, C07, C08, C09. Seul a été exclu le code C02CA02 (Vidora, indiqué dans le traitement de la migraine) et n'ayant pas d'indication, selon l'autorisation de mise sur le marché, dans le traitement de l'hypertension artérielle.

Le nombre moyen annuel des cas incidents pour la période 2016-2019 a ensuite été calculé.

Disponibilité géographique

Cet indicateur a été construit à la commune de résidence (dernière adresse référencée dans la base DCIR pour l'année de référence). Si pour des raisons de confidentialité (effectif ≤ 5), l'indicateur ne peut pas être extrait pour certaines communes, un indicateur à l'échelle de l'intercommunalité sera privilégié.

Discussion

L'HTA est la première maladie chronique dans le monde et en France et l'un des principaux facteurs de risque vasculaire. Selon l'enquête ESTEBAN, la prévalence de cette pathologie chez les personnes âgées entre 18 et 74 ans était de 30,6% en 2015 (Perrine *et al.* 2018). Une étude visant à prendre en compte la variabilité intra-individuelle associée aux modalités de mesure de la tension artérielle fournit des chiffres ajustés : 27,9% de prévalence HTA chez cette population de 18-74 ans, soit 12,7 millions de personnes. Une extrapolation à toute la population des plus de 18 ans estime à 17 millions le nombre de personnes hypertendues en France. Ce chiffre rejoint celui de l'OMS qui estime qu'une personne sur 3 dans le monde est hypertendue en 2023⁴¹.

Toujours selon l'étude ESTEBAN, dans la tranche d'âge de 18-74 ans, seulement 47,3% des personnes détectées hypertendues dans l'étude étaient traitées par un médicament anti-hypertenseur. On estime à 55% des personnes hypertendues (diagnostiquées ou pas) le nombre de personnes de cette tranche d'âge traitées, ce qui correspondrait à 9,4 millions de personnes traitées.

Le choix de retenir l'âge de 18 ans et plus est lié au fait que, selon l'étude Esteban, 6,3% des 18-35 ans sont hypertendus, ce qui représente environ 600 000 personnes si on prend l'estimation de 9.4 millions de personnes hypertendues traitées en France. Ce n'est pas négligeable. Par ailleurs, la méta-analyse de Qin *et al.* qui permet d'estimer la FCR traite de cohortes issues de populations générales adultes.

Il a par ailleurs été décidé de garder toutes les HTA incluant les HTA compliquées par une comorbidité. La question d'un recoupement potentiel de l'impact de la PA sur l'hypertension et de son impact sur les incidences annuelles d'IAM et d'AVC, indicateurs de santé également étudiés dans ce travail, a été discutée. Si l'hypertension est un facteur de risque de ces affections, elle reste néanmoins une entité nosologique indépendante à moyen terme : l'hypertension diagnostiquée une année donnée ne conduit que rarement à un IAM, un AVC au cours de la même année, même s'il se peut que la complication (IAM ou AVC) soit à l'origine du diagnostic l'HTA. Concernant l'HTA associée à un diabète, il existe certains facteurs de risque communs comme l'obésité et la sédentarité et du coup il

⁴⁰ Les médicaments sont systématiquement contenus dans des emballages spécifiques, adaptés et accompagnés d'une notice, voire d'accessoires. Cet ensemble appelé conditionnement du médicament va accompagner le médicament tout au long de sa chaîne de distribution jusqu'aux mains du patient.

⁴¹ <https://www.who.int/news/item/19-09-2023-first-who-report-details-devastating-impact-of-hypertension-and-ways-to-stop-it>

ne paraissait pas pertinent d'exclure les HTA associées à un diabète ; a contrario, les dégâts vasculaires causés par le diabète peuvent conduire en aval à une hypertension.

En dehors de ces arguments, il est préférable de prendre en compte l'ensemble des HTA traitées dans l'analyse pour les raisons suivantes :

- En prenant tous les cas, on limite la sous-estimation de cet indicateur (même si on garde un bruit de fond non spécifique) ;
- Prendre tous les cas d'HTA est cohérent avec l'indicateur diabète pour lequel les diabètes compliqués sont inclus ;
- L'étude originelle de Qin *et al.* semble prendre en compte l'ensemble des HTA.

Pour information, il est à noter qu'environ 1 million de personnes bénéficiaient encore en 2012 d'une prise en charge pour ALD n° 12 (hypertension artérielle sévère). Toutefois, le décret n° 2011-726 du 24 juin 2011 a supprimé l'hypertension artérielle sévère (ALD n° 12) de la liste des ALD. Si de nouvelles prises en charge ne peuvent survenir, les patients qui bénéficiaient de cette prise en charge continuent à en bénéficier, ainsi que les patients en provenance d'un autre régime au sein duquel ils en bénéficiaient déjà, mais ce chiffre diminue d'année en année. Pour que l'arrêt de ce dispositif n'influence pas les effectifs des différents tops⁴², il a été décidé de ne pas retenir cette ALD, que ce soit pour repérer les pathologies cardio-neuro-vasculaires, ou pour construire le top qui correspond au traitement antihypertenseur⁴³.

Références

- Fuks, K. B., G. Weinmayr, M. Foraster, J. Dratva, R. Hampel, D. Houthuijs, B. Oftedal, A. Oudin, S. Panasevich, J. Penell, J. N. Sommar, M. Sørensen, P. Tiittanen, K. Wolf, W. W. Xun, I. Aguilera, X. Basagaña, R. Beelen, M. L. Bots, B. Brunekreef, H. B. Bueno-de-Mesquita, B. Caracciolo, M. Cirach, U. de Faire, A. de Nazelle, M. Eeftens, R. Elosua, R. Erbel, B. Forsberg, L. Fratiglioni, J. M. Gaspoz, A. Hilding, A. Jula, M. Korek, U. Krämer, N. Künzli, T. Lanki, K. Leander, P. K. Magnusson, J. Marrugat, M. J. Nieuwenhuijsen, C. G. Ostenson, N. L. Pedersen, G. Pershagen, H. C. Phuleria, N. M. Probst-Hensch, O. Raaschou-Nielsen, E. Schaffner, T. Schikowski, C. Schindler, P. E. Schwarze, A. J. Søgaard, D. Sugiri, W. J. Swart, M. Y. Tsai, A. W. Turunen, P. Vineis, A. Peters, and B. Hoffmann. 2014. 'Arterial blood pressure and long-term exposure to traffic-related air pollution: an analysis in the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE)', *Environ Health Perspect*, 122: 896-905.
- Lin, H., Y. Guo, Y. Zheng, Q. Di, T. Liu, J. Xiao, X. Li, W. Zeng, L. A. Cummings-Vaughn, S. W. Howard, M. G. Vaughn, Z. M. Qian, W. Ma, and F. Wu. 2017. 'Long-Term Effects of Ambient PM(2.5) on Hypertension and Blood Pressure and Attributable Risk Among Older Chinese Adults', *Hypertension*, 69: 806-12.
- Perrine, A-L., C. Lecoffre, J. Blacher, and V. Olié. 2018. 'L'hypertension artérielle en France : prévalence, traitement et contrôle en 2015 et évolutions depuis 2006', *Bull Epidemiol Hebd*: 170-79.
- Qin, P., X. Luo, Y. Zeng, Y. Zhang, Y. Li, Y. Wu, M. Han, R. Qie, X. Wu, D. Liu, S. Huang, Y. Zhao, Y. Feng, X. Yang, F. Hu, X. Sun, D. Hu, and M. Zhang. 2021. 'Long-term association of ambient air pollution and hypertension in adults and in children: A systematic review and meta-analysis', *Sci Total Environ*, 796: 148620.

⁴² Un « top » correspond à un des 60 groupes de pathologies, événements de santé et traitements appréhendé grâce aux algorithmes de sélection développé par la CNAM ; ils permettent de capturer les événements les plus fréquents ou coûteux ou évolutifs ; ces 60 groupes sont classés par organe ou par thème en 15 grandes catégories.

⁴³ https://assurance-maladie.ameli.fr/sites/default/files/2022_methode-reperage-pathologies_cartographie_0.pdf

Pathologies métaboliques

Incidence du diabète de type 2

Des liens entre exposition aux PM_{2,5} et incidence du diabète de type 2 (E11-14) chez l'adulte (30 ans et plus) ont été établis. La FCR issue de la méta-analyse de Yang *et al.* (2020) a été recalculée par le projet EMAPEC à 1,10 [1,03 ; 1,18] pour une augmentation de 10 µg/m³ de PM_{2,5} (liste B+).

Source(s) de données

Données de remboursements des médicaments hypoglycémisants par l'assurance maladie dans le SNDS (DCIR).

Population considérée

La classe d'âge considérée est celle des 45 ans et plus (âge révolu) : âge ≥ 45 ans.

Définition d'un cas

Personnes ayant été remboursées dans l'année n et pour la première fois depuis deux ans, d'au moins 3 délivrances (à différentes dates) d'antidiabétiques oraux ou injectables (insuline ou analogues du GLP-1) (ou au moins 2 en cas d'au moins 1 grand conditionnement) (Fuentes *et al.* 2018).

Codes ATC utilisés : tous les médicaments de la classe ATC A10 à l'exception de Mediator® et de ses génériques (benfluorex, code ATC A10BX06).

Le nombre moyen annuel des cas incidents pour la période 2016-2019 a ensuite été calculé.

Disponibilité géographique

Cet indicateur a été construit à la commune de résidence (*dernière adresse référencée dans la base DCIR pour l'année de référence*).

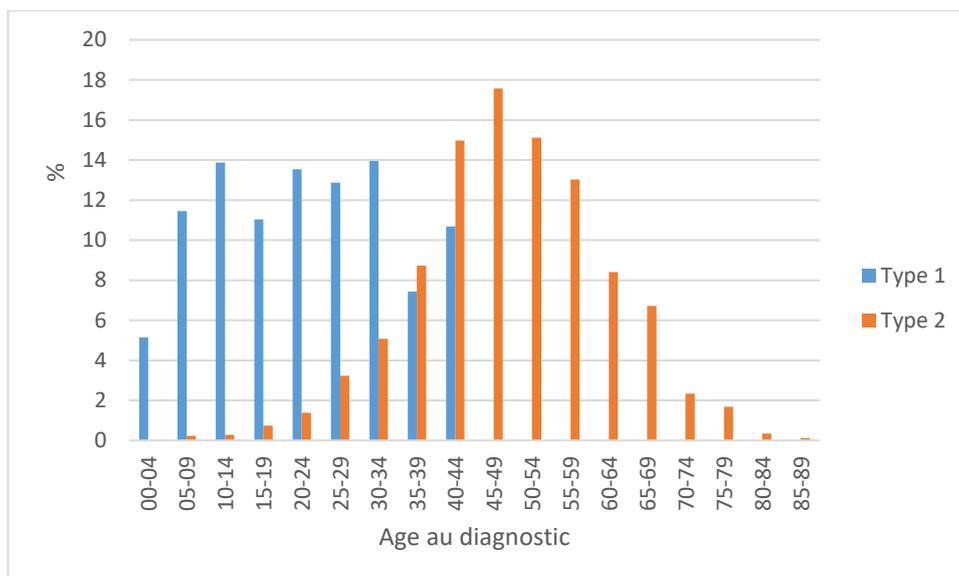
Discussion

La définition de cas retenue porte sur le diabète traité pharmacologiquement et n'inclut donc pas les cas de diabète de type 2 incidents pris en charge par mesures hygiéno-diététiques uniquement, sans traitement médicamenteux. Ainsi, l'incidence estimée est inférieure à l'incidence réelle du diabète. D'après l'étude ESTEBAN (2014-2016), la proportion de personnes atteintes d'un diabète de type 2 mais non traitées pharmacologiquement est estimée à 21% parmi les 18-74 ans (Lailier *et al.* 2020).

Par ailleurs, cette approche cible les cas de diabète traités pharmacologiquement, tous types confondus. Elle ne permet pas d'identifier spécifiquement les cas de diabète de type 2. Néanmoins, le diabète de type 2 représente plus de 92% de l'ensemble des cas de diabète traité pharmacologiquement tous âges confondus.

En France, l'incidence du diabète de type 2 est très faible chez les enfants et jeunes adultes et augmente fortement avec l'âge (Fuentes, S. 2023). Selon les données d'ENTRED 3 (non publiées), moins de 20% des personnes atteintes d'un diabète de type 2 ont un âge au diagnostic (incidence) inférieur à 45 ans et pour 17% entre 30 et 45 ans. En revanche, 32% des personnes atteintes d'un diabète de type 1 ont un âge au diagnostic entre 30 et 45 ans (Figure 2).

Figure 2 - Distribution de l'âge au diagnostic des personnes atteintes d'un diabète selon le type de diabète (Étude ENTRED 3 non publiée)



De plus, la définition de cas basée sur les remboursements de traitements antidiabétiques inclut également des cas de diabète gestationnel chez des femmes âgées de 30 à 45 ans.

La restriction de la population d'étude aux personnes âgées de 45 ans et plus permet donc d'être plus spécifique du diabète de type 2. Néanmoins, une analyse de sensibilité a été conduite dans la population des personnes âgées de 30 ans et plus, les résultats sont proches de ceux de l'analyse principale.

Par ailleurs, il a été décidé de garder l'ensemble des cas de diabète, y compris ceux compliqués par une comorbidité.

Références

- Fuentes, S., R. Hrzic, R. Haneef, S. Kab, E. Cosson, and S. Fosse-Edorh. 2023. 'Identifying type 1 / type 2 diabetes in medico-administrative database to improve health surveillance, medical research and prevention in diabetes: Algorithm development and application', *Diabetes Epidemiology and Management*, 10: 100137.
- Lailier, G., C. Piffaretti, S. Fuentes, H. D. Nabe, A. Oleko, E. Cosson, and S. Fosse-Edorh. 2020. 'Prevalence of prediabetes and undiagnosed type 2 diabetes in France: Results from the national survey ESTEBAN, 2014-2016', *Diabetes Res Clin Pract*, 165: 108252.
- Yang, B. Y., S. Fan, E. Thiering, J. Seissler, D. Nowak, G. H. Dong, and J. Heinrich. 2020. 'Ambient air pollution and diabetes: A systematic review and meta-analysis', *Environ Res*, 180: 108817.

Indicateurs de santé non retenus

Deux indicateurs de santé recommandés par le projet EMAPEC n'ont pas été retenus dans notre EQIS à savoir les démences et les troubles du spectre autistique.

Concernant les démences (codes CIM-10 F00-F03, G30), aujourd'hui il existe trois algorithmes qui permettent d'extraire les cas prévalents de démence du SNDS. L'algorithme de la Caisse Primaire d'Assurance Maladie (CPAM)⁴⁴, celui de Santé publique France (Carcaillon-Bentata *et al.* 2016 ; Carcaillon-Bentata *et al.* 2021) et celui de l'équipe CERPOP de Toulouse (Gallini *et al.* 2021). Ils sont tous relativement proches, mais seule la qualité de l'algorithme de Santé publique France a été réellement étudiée avec des rapports de prévalence qui permettaient la comparaison entre la prévalence trouvée par l'algorithme à celle retrouvée dans les cohortes de suivi d'intérêt, qui servaient de « gold standard ». Chez les 55-70 ans (Carcaillon-Bentata *et al.* 2016), les rapports de prévalence entre les données obtenues via l'algorithme Santé publique France et les données issues d'une étude de cohorte populationnelle (Étude Rotterdam) n'étaient pas significativement différents de 1 (RP : 0,70 [0,49 – 1,1]). L'utilisation de l'algorithme Santé publique France semble donc envisageable pour les populations de moins de 70 ans.

Il est par ailleurs à noter que seuls 8% des cas prévalents repérés dans le SNDS dans cette tranche d'âge le sont uniquement grâce à la prescription des médicaments *ad hoc* dont le déremboursement a été acté en 2018 en raison d'un trop faible « service médical rendu » (Carcaillon-Bentata *et al.* 2021) ; ces médicaments n'apparaissent plus dans les bases de remboursement pour les années récentes. Pour autant, en raison de leur faible poids dans les capacités d'extraction de l'algorithme, la qualité de celui-ci ne devrait pas en être trop impacté. Ceci est d'autant plus vrai que le diagnostic d'une démence est probablement plus bruyant chez un sujet jeune et sera vraisemblablement plus souvent associé à la mise en place d'une Affection longue durée (ALD) et/ou d'une hospitalisation dédiée (et donc repérable dans le SNDS). Néanmoins, selon les sources, le nombre total de cas prévalents présentant une démence entre 40 et 65 ans varie entre 24 000 et 34 500 personnes (Carcaillon-Bentata *et al.* 2016 ; Carcaillon-Bentata *et al.* 2021), alors que le nombre total de patients atteints de démence en France se situerait entre 900 000 et 1,2 millions de personnes tous âges confondus⁴⁵ (Carcaillon-Bentata *et al.* 2016) ; ainsi, avec cet algorithme, on peut capter au mieux seulement 4% des cas prévalents dans cette tranche d'âge. Chez les plus de 70 ans (Carcaillon-Bentata *et al.* 2016), les rapports de prévalence ont été mesurés en comparant les données obtenues via l'algorithme de Santé publique France et celles issues des études de cohorte populationnelle Rotterdam et Paquid. Ainsi, avec l'algorithme de Santé publique France, il a été constaté que la prévalence était 1,6 fois inférieure aux taux attendus (RP : 0,63 [0,62 – 0,65] sur l'étude Paquid par exemple). Sur la base de cette seule étude, il semble que la capacité d'identification de cet algorithme soit limitée dans cette tranche d'âge.

Santé publique France mène actuellement une étude de faisabilité pour le développement d'un autre algorithme de repérage des cas dans le SNDS et d'un système de surveillance au niveau national, régional et infrarégional ; il devrait être développé en 2024. Si un algorithme performant est identifié, il pourrait être disponible courant 2025 (sous réserve). En conclusion, devant les capacités limitées de l'algorithme actuel de Santé publique France de capter les cas de démence dans les populations âgées, il semble préférable d'attendre l'arrivée du nouvel algorithme Santé publique France avant de pouvoir éventuellement utiliser les données extraites dans le cadre des EQIS-PA.

Pour ce qui est **des TSA** (codes CIM-10 F84.0, F84.1, F84.5, F84.8, F84.9), l'US-EPA classe l'exposition à long terme aux PM_{2,5} comme cause probable d'effets neurologiques. La revue de littérature menée par Santé publique France (Durou *et al.* 2021) suggérait une augmentation de risque significative de l'exposition à long terme aux PM_{2,5} sur l'incidence des troubles du spectre autistique (TSA) chez les enfants à partir de la période périnatale jusqu'à l'âge de 8 ans. Plus récemment, Lin LZ *et al.* (2022) ont conclu que les preuves de l'association entre TSA à l'exposition au cours de

⁴⁴ https://assurance-maladie.ameli.fr/sites/default/files/2020_fiche_demences-dont-alzheimer_0.pdf

⁴⁵ [Le nombre de personnes atteintes de maladie d'Alzheimer devrait doubler en 30 ans \(fondation-alzheimer.org\)](https://www.fondation-alzheimer.org/fr/le-nombre-de-personnes-atteintes-de-maladie-d-alzheimer-devrait-doubler-en-30-ans)

la première année postnatale sont plus solides et avec une moindre hétérogénéité de l'estimation du risque que pour les autres fenêtres d'exposition. EMAPEC a recalculé le méta-risque de Lin LZ (2022) : 1,05 (IC : 1,02 - 1,08) qui est recommandé pour l'EQIS en liste B+.

Il existe aujourd'hui trois algorithmes recensés par Santé publique France comme tentant d'identifier les « TSA »⁴⁶ dans le SNDS. Le groupement EPI-PHARE (3) a développé un algorithme permettant d'identifier les troubles neuro-développementaux (codes CIM-10 F70 - F98) incluant les TSA. La Haute Autorité de santé (HAS) (Haute Autorité de santé 2017) et Santé publique France (Coste *et al.* 2020) ont, quant à eux, développé un algorithme portant uniquement sur les troubles envahissants du développement (TED) et donc par extension les TSA (code CIM-10 F84). Les trois algorithmes diffèrent, car ils ne mobilisent pas les mêmes sources de données au sein du SNDS. L'algorithme de la HAS a utilisé uniquement les hospitalisations et actes ambulatoires dans le RIM-P (Recueil d'information médicalisé en psychiatrie, aussi appelé PMSI PSY). L'algorithme EPI-PHARE a utilisé les ALD et les hospitalisations dans le PMSI MCO. L'algorithme Santé publique France a mobilisé les trois sources (ALD, PMSI MCO et RIM-P).

Aucun de ces algorithmes n'a fait l'objet d'une validation avec une base de données cliniques. Cependant, les estimations de prévalence chez les enfants à partir du SNDS réalisées avec l'algorithme Santé publique France sont comparables à celles des registres comme indiqué dans le rapport de 2020 (Coste *et al.* 2020). Il apparaît également dans ce rapport et dans celui de la HAS que la prise en compte d'un critère mobilisant le RIM-P est nécessaire, les enfants atteints de TSA bénéficiant d'une prise en charge sanitaire importante dans le secteur psychiatrique. Néanmoins, le RIM-P ne permet pas de retrouver l'identité unique d'un patient pour les actes ambulatoires (consultations en CMP (centre médico-psychologique) et CMPP (centre médico-psycho-pédagogique) principalement) lorsque celui-ci n'a pas été hospitalisé dans le même établissement au cours de son suivi. Dans son rapport, la HAS notait ainsi que 75% des patients identifiés avec les actes ambulatoires dans le RIM-P n'avaient pas été hospitalisés en psychiatrie et donc ne pouvaient faire l'objet d'un chaînage unique de leur identité, et n'étaient donc pas comptabilisés. Ainsi, la prévalence des TSA est toujours sous-estimée à partir de l'utilisation du RIM-P. En complément, il faut noter qu'une forte sous-estimation des TSA est observée à partir de l'adolescence dans le SNDS, notamment à cause du non-renouvellement de l'ALD et d'une potentielle moindre prise en charge sanitaire au profit d'une prise en charge médico-sociale. Cela ne devrait pas affecter l'étude de la relation entre TSA et pollution de l'air, puisqu'un effet sera recherché chez les enfants à partir de la périnatalité jusqu'à l'âge de 8 ans environ.

Résultant de l'amélioration de la prise en charge des TSA et des avancées thérapeutiques, Santé publique France mène actuellement des travaux d'amélioration de son algorithme, en collaboration avec des cliniciens spécialistes, dans le but d'estimer des indicateurs mis à jour. Ainsi, deux nouveaux critères mobilisant les données de remboursement de soins en ville (non exploitées jusqu'à présent) sont testés : un critère sur la prescription d'un médicament traceur (le Slenyto®) ; et un critère sur le remboursement de consultations orthophoniques avant l'âge de 3 ans, traceur d'un retard du langage constituant un signe d'alerte majeur de TSA.

En conclusion, comme pour la démence, dans l'attente de la future mise à jour de l'algorithme par Santé publique France qui permettra de mieux capter les cas de TSA chez les enfants, il semble préférable d'attendre l'arrivée du nouvel algorithme avant de pouvoir éventuellement utiliser les données extraites dans le cadre des EQIS-PA.

⁴⁶ La CIM-10 évoque le terme de TED pour troubles envahissants du développement. La CIM-11 introduit la notion maintenant retenue de TSA pour trouble du spectre de l'autisme. Cette définition des TSA exclut désormais le syndrome de Rett, considéré comme un TED dans la CIM-10. Cependant la CIM-11 n'est actuellement pas utilisée dans le SNDS (codage en CIM-10), tous les algorithmes présentés dans ce document permettent donc d'identifier les TED, l'utilisation du terme TSA constitue un abus de langage pour être en accord avec la terminologie utilisée actuellement.

Références

- Carcaillon-Bentata L, Quintin C, Moutengou E, Boussac-Zarebska M, Moisan F, Ha C, *et al.* Peut-on estimer la prévalence de la maladie d'Alzheimer et autres démences à partir des bases de données médico-administratives ? Comparaison aux données de cohortes populationnelles. *Bull Epidémiol Hebd.* 2016;(28-29): 459-67. http://invs.santepubliquefrance.fr/beh/2016/28-29/2016_28-29_1.html
- Carcaillon-Bentata L, Quintin C, Boussac-Zarebska M, Elbaz A (2021) Prevalence and incidence of young onset dementia and associations with comorbidities: A study of data from the French national health data system. *PLOS Medicine* 18(9): e1003801. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003801>
- Coste J, Blotiere PO, Miranda S, Mikaeloff Y, Peyre H, Ramus F, *et al.* Risk of early neurodevelopmental disorders associated with in utero exposure to valproate and other antiepileptic drugs : a nationwide cohort study in France. *Sci Rep [Internet].* 2020 [cité 5 mars 2024] ;10. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7581762/>
- Durou A. Effets à court et long terme de la pollution atmosphérique extérieure sur les troubles neurologiques et mentaux : opportunité pour la réalisation d'une évaluation quantitative d'impact sur la santé. Saint-Maurice : Santé publique France ; 2021. 48 p.
- Gallini et al, 2021: « Development and Validation of a Model to Identify Alzheimer's Disease and Related Syndromes in Administrative Data » DOI : 10.2174/1567205018666210416094639
- Haute Autorité de Santé. Autisme et autres troubles envahissants du développement (TED) chez l'adulte : Analyse des données du PMSI psychiatrie. Paris: Haute Autorité de santé ; 2017 déc p. 50.
- Lin LZ, Zhan XL, Jin CY, Liang J-H, Jing J, Dong G-H. The epidemiological evidence linking exposure to ambient particulate matter with neurodevelopmental disorders: a systematic review and meta-analysis. *Environ Res.* 2022 ;209:112876.

Annexe 3. Résultats des analyses de sensibilité

3.1. Analyse de sensibilité pour l'incidence du cancer du poumon : estimation à partir des données de mortalité corrigées par le taux de survie national

Résultats descriptifs

Tableau 1 – Nouveaux cas de cancer du poumon chez les 35 ans et plus estimés à partir des données de mortalité corrigées par le taux de survie national, selon la classe de densité, 2016-2019

Classe de densité	Population 35 ans et +	Nombre moyen annuel de nouveaux cas	Taux moyen annuel pour 100 000 (P5-P95)	Différence entre les nombres moyens de l'estimation par les taux départementaux
Rural autonome peu dense à très peu dense	5 837 508	6 605	106,1 (0 - 456,7)	+204
Rural sous faible influence d'un pôle	3 530 057	3 621	98,7 (0 - 377,2)	-241
Rural sous forte influence d'un pôle	3 951 001	3 688	90,6 (0 - 327,8)	-631
Urbain densité intermédiaire	10 805 292	12 209	101,3 (0 - 207,3)	+579
Urbain dense	4 553 811	4 818	97,0 (38,7 - 161,2)	+378
Urbain dense au sein d'une métropole	8 497 625	8 266	97,9 (47,8 - 158,7)	-516
France hexagonale	37 175 294	39 207	100,7 (0 - 382,3)	-428

Source : CépiDC/SNDS, exploitation Santé publique France

Le taux estimé ici est légèrement plus faible en moyenne sur toute la France hexagonale que celui observé à partir des taux départementaux, mais surtout il présente une étendue interquartile plus importante.

Résultats de l'EQIS-PA

Tableau 2 - Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour le cancer du poumon (35 ans et plus) en utilisant les données de mortalité corrigées par le taux de survie national, France hexagonale (2016-2019)

Classe de densité	Scénario Poids total des PM _{2,5} (3 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS PM _{2,5} (5 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS PM _{2,5} (10 µg/m ³)		
	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée*	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée**	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)
Rural autonome peu dense à très peu dense	583 (381 ; 799)	8,8 (5,8 ; 12,1)	402 (261 ; 554)	6,1 (4,0 ; 8,4)	68,9***	11 (7 ; 15)	0,2 (0,1 ; 0,2)	1,9
Rural sous faible influence d'un pôle	342 (224 ; 468)	9,4 (6,2 ; 12,9)	243 (158 ; 334)	6,7 (4,4 ; 9,2)	71,1	15 (9 ; 20)	0,4 (0,3 ; 0,6)	4,3
Rural sous forte influence d'un pôle	347 (227 ; 474)	9,4 (6,1 ; 12,9)	246 (160 ; 339)	6,7 (4,3 ; 9,2)	71,0	14 (9 ; 19)	0,4 (0,2 ; 0,5)	4,0
Urbain densité intermédiaire	1 221 (799 ; 1 668)	10,0 (6,5 ; 13,7)	890 (580 ; 1 223)	7,3 (4,7 ; 10,0)	72,9	98 (63 ; 135)	0,8 (0,5 ; 1,1)	8,0
Urbain dense	527 (345 ; 718)	10,9 (7,2 ; 14,9)	397 (259 ; 545)	8,2 (5,4 ; 11,3)	75,4	70 (45 ; 97)	1,5 (0,9 ; 2,0)	13,3
Urbain dense au sein d'une métropole	1 011 (665 ; 1 375)	12,2 (8,0 ; 16,6)	793 (518 ; 1 083)	9,6 (6,3 ; 13,1)	78,4	226 (146 ; 313)	2,7 (1,8 ; 3,8)	22,3
France hexagonale	4 031 (2 641 ; 5 502)	10,3 (6,7 ; 14,0)	2 971 (1 937 ; 4 077)	7,6 (4,9 ; 10,4)	73,7	433 (280 ; 600)	1,1 (0,7 ; 1,5)	10,7

* Estimation centrale et estimations basse et haute correspondant aux limites inférieure et supérieure de l'IC95% du RR ;

** Pourcentage de l'estimation centrale ;

*** Dans les zones rurales autonomes faiblement à très faiblement peuplées, si la valeur guide de l'OMS de 5 µg/m³ était respectée, 68,9% des nouveaux cas de cancer du poumon dus à la pollution anthropique seraient évités, ce qui représente 6,1% de tous les nouveaux cas de cancer du poumon au cours d'une année donnée.

Lorsque la méthode de calcul présentée ici utilise le taux de mortalité par cancer du poumon à la commune, corrigé par le taux de survie national au lieu du taux d'incidence départementale, les résultats au niveau national sont quasiment identiques.

3.2. Analyse de sensibilité de l'erreur de classification de l'exposition pour les données d'hospitalisation : exemple de l'AVC

Résultats descriptifs

Tableau 3 – Nouveaux cas d'AVC chez les 35 ans et plus selon la classe de densité, en utilisant tous les cas avec ou sans concordance entre codes Insee et codes postaux 2016-2019

Classe de densité	Population 35 ans et +	Nombre moyen annuel de nouveaux cas	Taux moyen annuel pour 100 000 (P5-P95)	Différence entre les nombres moyens de l'estimation en utilisant tous les cas avec ou sans concordance entre codes Insee et codes postaux
Rural autonome peu dense à très peu dense	5 837 508	17 360	278,2 (0 – 555,6)	+1 266
Rural sous faible influence d'un pôle	3 530 057	9 520	258,6 (0 – 491,7)	+677
Rural sous forte influence d'un pôle	3 951 001	9 370	229,4 (0 - 418,7)	+700
Urbain densité intermédiaire	10 805 292	30 861	258,1 (141,2 - 370,7)	+2 071
Urbain dense	4 553 811	13 040	262,4 (176,6 - 360,4)	+853
Urbain dense au sein d'une métropole	8 497 625	23 315	272,1 (208,4 - 319,8)	+938
France hexagonale	37 175 294	103 466	261,9 (0 - 493,4)	+6 505

Source : PMSI/SNDS, exploitation Santé publique France

Le taux estimé ici est plus élevé en moyenne sur toute la France hexagonale que celui observé si on garde les cas d'AVC dont le code Insee et le code postal ne concordent pas (soit une augmentation de 7% des cas).

Résultats de l'EQIS-PA

Tableau 4 - Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour AVC (35 ans et plus) en utilisant tous les cas avec ou sans correspondance entre codes Insee et codes postaux, France hexagonale (2016-2019)

Classe de densité	Scénario Poids total des PM _{2,5} (3 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS PM _{2,5} (5 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS PM _{2,5} (10 µg/m ³)		
	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée*	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée**	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)
Rural autonome peu dense à très peu dense	1 531 (1 182 ; 1 862)	8,8 (6,8 ; 10,7)	1 055 (811 ; 1 286)	6,1 (4,7 ; 7,4)	68,9***	29 (22 ; 35)	0,2 (0,1 ; 0,2)	1,9
Rural sous faible influence d'un pôle	898 (694 ; 1 091)	9,4 (7,3 ; 11,5)	638 (492 ; 778)	6,7 (5,2 ; 8,2)	71,1	40 (30 ; 49)	0,4 (0,3 ; 0,5)	4,1
Rural sous forte influence d'un pôle	881 (681 ; 1 070)	9,4 (7,3 ; 11,4)	626 (482 ; 762)	6,7 (5,1 ; 8,1)	71,0	36 (28 ; 44)	0,4 (0,3 ; 0,5)	4,1
Urbain densité intermédiaire	3 080 (2 382 ; 3 739)	10,0 (7,7 ; 12,1)	2 243 (1 729 ; 2 731)	7,3 (5,6 ; 8,9)	72,8	246 (189 ; 302)	0,8 (0,6 ; 1,0)	8,0
Urbain dense	1 416 (1 096 ; 1 717)	10,9 (8,4 ; 13,2)	1 066 (822 ; 1 296)	8,2 (6,3 ; 9,9)	75,3	184 (141 ; 225)	1,4 (1,1 ; 1,7)	13,0
Urbain dense au sein d'une métropole	2 855 (2 214 ; 3 456)	12,2 (9,5 ; 14,8)	2 239 (1 731 ; 2 718)	9,6 (7,4 ; 11,7)	78,4	643 (493 ; 786)	2,8 (2,1 ; 3,4)	22,5
France hexagonale	10 663 (8 250 ; 12 934)	10,3 (8 ; 12,5)	7 867 (6 067 ; 9 572)	7,6 (5,9 ; 9,3)	73,8	1 177 (902 ; 1 441)	1,1 (0,9 ; 1,4)	11,0

* Estimation centrale et estimations basse et haute correspondant aux limites inférieure et supérieure de l'IC95 % du RR.

** Pourcentage de l'estimation centrale.

***Dans les zones rurales autonomes faiblement à très faiblement peuplées, si la valeur guide de l'OMS de 5 µg/m³ était respectée, 68,9% des nouveaux cas d'AVC dus à la pollution anthropique seraient évités, ce qui représente 6,1% de tous les nouveaux cas d'AVC au cours d'une année donnée.

Lorsque dans l'analyse de sensibilité présentée ici, le calcul s'est fait en prenant en compte tous les codes Insee, qu'ils concordent ou pas aux codes géographiques PMSI, les impacts sont légèrement plus élevés qu'en analyse principale.

3.3. Analyse de sensibilité utilisant une classe d'âge différente (30 ans et plus) pour le diabète type 2

Résultats descriptifs

Tableau 5 – Nouveaux cas de diabète de type 2 chez les 30 ans et plus estimés à partir des délivrances de médicaments* selon la classe de densité, 2016-2019

Classe de densité	Population 30 ans et +	Nombre moyen annuel de nouveaux cas	Taux moyen annuel pour 100 000 (P5-P95)	Différence entre les nombres moyens de l'estimation chez les 45 ans et plus
Rural autonome peu dense à très peu dense	6 310 568	34 306	534,4 (0 – 1 118,8)	+2 235
Rural sous faible influence d'un pôle	3 530 057	19 881	518,1 (0 – 1 004,5)	+1 512
Rural sous forte influence d'un pôle	3 877 617	20 834	481,4 (105,5 - 913,5)	+1 609
Urbain densité intermédiaire	10 805 292	67 748	529,8 (278,7 - 795,6)	+6 121
Urbain dense	4 346 719	32 234	595,2 (344,0 - 883,9)	+4 362
Urbain dense au sein d'une métropole	8 497 625	60 043	595,1 (374,9 - 969,6)	+8 627
France hexagonale	11 824 106	235 055	521,0 (0 – 1 022,7)	+24 476

* délivrance de médicaments pour diabète de type 2 (codes ATC A10) avec absence d'antécédents dans les deux années précédentes
Sources : DCIR/SNDS, exploitation Santé publique France

Le taux estimé ici est plus élevé en moyenne sur toute la France hexagonale que celui observé si on garde les cas de diabète de type 2 chez 45 ans et plus (soit une augmentation d'environ 12% des cas).

Résultats de l'EQIS-PA

Tableau 6 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour le diabète de type 2 (30 ans et plus), France hexagonale (2016-2019)

Classe de densité	Scénario Poids total des PM _{2,5} (3 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS PM _{2,5} (5 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS PM _{2,5} (10 µg/m ³)		
	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée*	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée**	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)
Rural autonome peu dense à très peu dense	1 997 (632 – 3 391)	5,8 (1,8 – 9,9)	1 375 (433 – 2 351)	4,0 (1,3 – 6,9)	68,9	44 (14 – 76)	0,1 (0,0 – 0,2)	2,2
Rural sous faible influence d'un pôle	1 241 (394 – 2 105)	6,2 (2,0 – 10,6)	883 (278 – 1 507)	4,4 (1,4 – 7,6)	71,1	60 (19 - 104)	0,3 (0,1 – 0,5)	4,8
Rural sous forte influence d'un pôle	1 291 (410 – 2 190)	6,2 (2,0 – 10,5)	915 (288 – 1 562)	4,4 (1,4 – 7,5)	70,9	55 (17 - 95)	0,3 (0,1 – 0,5)	4,3
Urbain densité intermédiaire	4 501 (1 430 – 7 620)	6,6 (2,1 – 11,2)	3 284 (1 037 – 5 596)	4,8 (1,5 – 8,3)	73,0	391 (122 – 675)	0,6 (0,2 – 1,0)	8,7
Urbain dense	2 327 (741 – 3 931)	7,2 (2,3 – 12,2)	1 751 (554 – 2 978)	5,4 (1,7 – 9,2)	75,3	308 (96 – 531)	1,0 (0,3 – 1,6)	13,2
Urbain dense au sein d'une métropole	4 872 (1 556 – 8 202)	8,1 (2,6 – 13,7)	3 811 (1 210 – 6 457)	6,3 (2,0 -10,8)	78,2	1 099 (344 – 1 891)	1,8 (0,6 – 3,1)	22,5
France hexagonale	16 230 (5 163 – 27 438)	6,9 (2,2 – 11,7)	12 019 (3 800 – 20 451)	5,1 (1,6 – 8,7)	74,0**	1 957 (611 – 3 372)	0,8 (0,3 -1,4)	12,1

* Estimation centrale et estimations basse et haute correspondant aux limites inférieure et supérieure de l'IC95% du RR ;
 ** Le poids total des PM_{2,5} sur les nouveaux cas de diabète de type 2 représente 16 230 cas. Si la valeur de 5 µg/m³ de l'OMS était respectée, 74% de ces nouveaux cas de diabète (soit 12 019 nouveaux cas) seraient évités.

Lorsque dans l'analyse de sensibilité présentée ici, la tranche d'âge retenue est celle proposée par EMAPEC (30 ans et plus), l'impact est un peu plus élevé que lorsque la tranche d'âge considérée est celle recommandée par Santé publique France (45 ans et plus).

3.4. Analyse de sensibilité de la méthode de prise en compte des faibles effectifs

Une analyse de sensibilité a été réalisée pour la période d'étude (2016-2019) en Île-de-France, en comparant les résultats de l'approche utilisée en analyse principale et qui est basée sur des estimations d'incidence brutes à la commune (approche 1), aux résultats obtenus en appliquant une stratégie d'estimation de l'incidence des pathologies incluant un lissage pour les plus petites communes, celles de moins de 5 000 habitants (approche 2).

Description des deux approches

Approche 1 : taux bruts

Nombre de cas bruts estimé à la commune, rapporté à l'effectif de population sensible⁴⁷ sans considération de la taille de la commune.

Approche 2 : taux lissé

Pour les plus petites communes, afin de lisser l'indicateur potentiellement soumis à une plus grande variabilité et pour des raisons de confidentialité, l'indicateur a été extrait pour un regroupement de communes (les plus petites) au sein d'un même Établissement public de coopération intercommunale (EPCI), ou au sein d'un Établissement public territorial (EPT) pour Paris.

Comme pour chaque commune, chaque EPCI porte un numéro unique qui est attribué par l'Insee.

En pratique, avant d'extraire les données du DCIR et du PMSI, une variable hybride « comEPCI » est construite à partir des codes commune (Insee) et EPCI.

- Si la population communale (pop_com) \geq 5 000 habitants (année de référence 2019) alors comEPCI = code commune ;
- Si pop_com < 5 000 (année de référence 2019) alors comEPCI = code EPCI. Toutes les communes du moins de 5 000 habitants d'un EPCI sont alors regroupées sous ce même code EPCI.

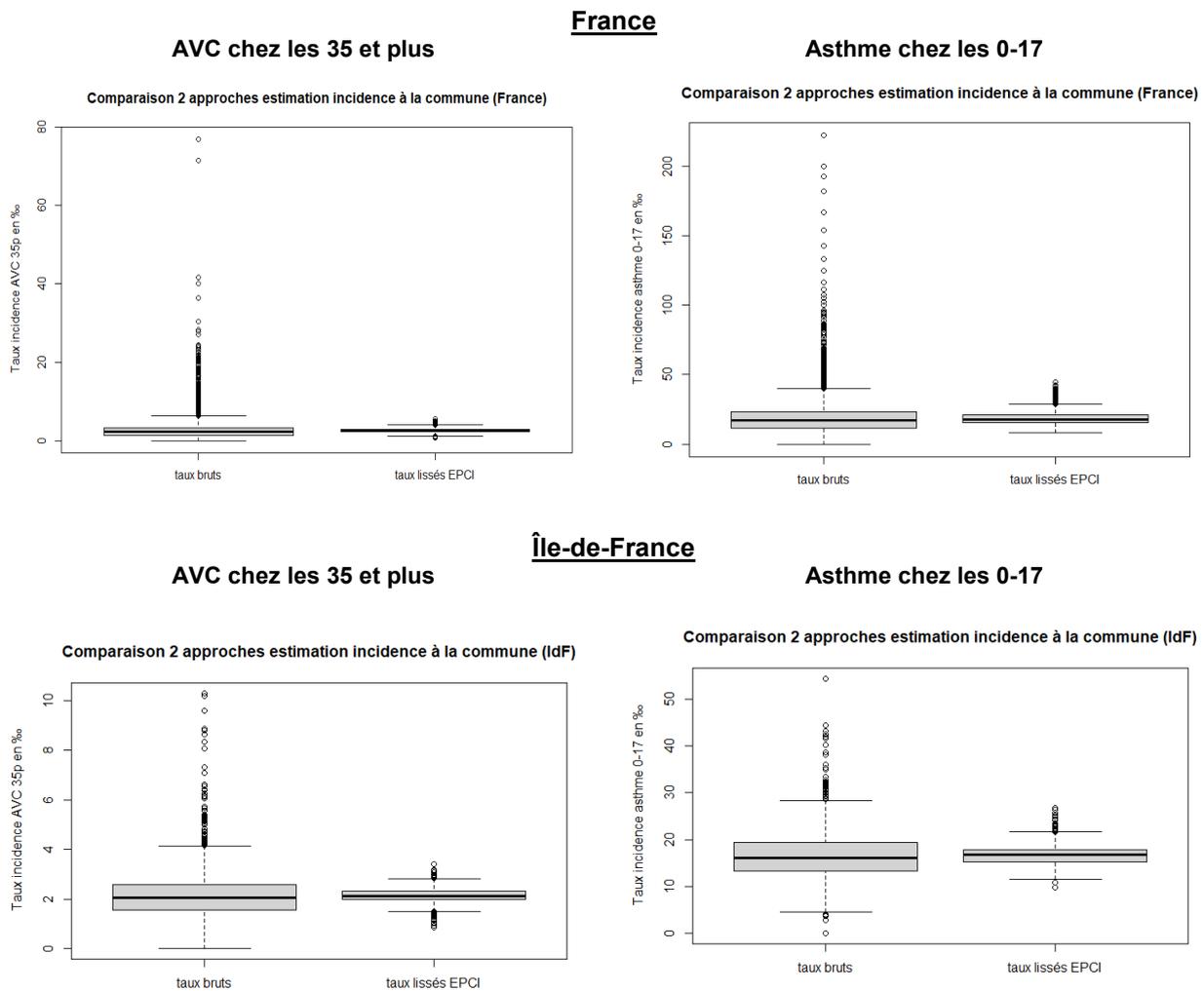
Le nombre de séjours hospitaliers et nombre de consommateurs, enregistrés dans la base de données dans le groupe d'âge correspondant au cours de la période, ont alors été extraits pour chaque code comEPCI unique. Le nombre de cas rapportés au nombre total de consommateurs a été utilisé pour estimer les taux qui ont été affectés à chaque commune comportant moins de 5 000 habitants au sein de l'EPCI/EPT.

Résultats descriptifs : distribution du taux d'incidence communal pour deux pathologies

La Figure 1 ci-après illustre la distribution de l'incidence au sein des communes d'Île-de-France de deux pathologies selon les deux approches d'estimation (taux bruts et taux lissés par regroupement de communes). Les taux bruts montrent une distribution avec des valeurs extrêmes particulièrement élevées ou faibles ; le lissage permet de resserrer la distribution.

⁴⁷ Population sensible : population d'une zone densément peuplée où le niveau de certains polluants dépasse les valeurs limites (par exemple NO₂). Les actions visant à améliorer la qualité de l'air dans cette zone sont considérées comme prioritaires.

Figure 1 - Distribution de l'incidence de deux pathologies au sein des communes en France et en Île-de-France selon 2 approches d'estimation (2016-2019)



Incidence sur le calcul d'impact : cas de l'Île-de-France

L'analyse de sensibilité a été effectuée pour l'Île-de-France.

Les résultats sont présentés pour quatre sous-territoires, représentatifs de la variabilité des densités urbaines, de Paris où la densité urbaine est particulièrement élevée à la grande couronne, qualifiée de zone rurale. Les résultats des calculs d'impact effectués à partir des indicateurs obtenus selon les deux approches décrites ci-dessus sont présentés dans le tableau suivant ainsi que sous forme graphique.

Présentés par grands territoires, les résultats ne montrent aucune différence selon les deux approches d'estimation de l'incidence.

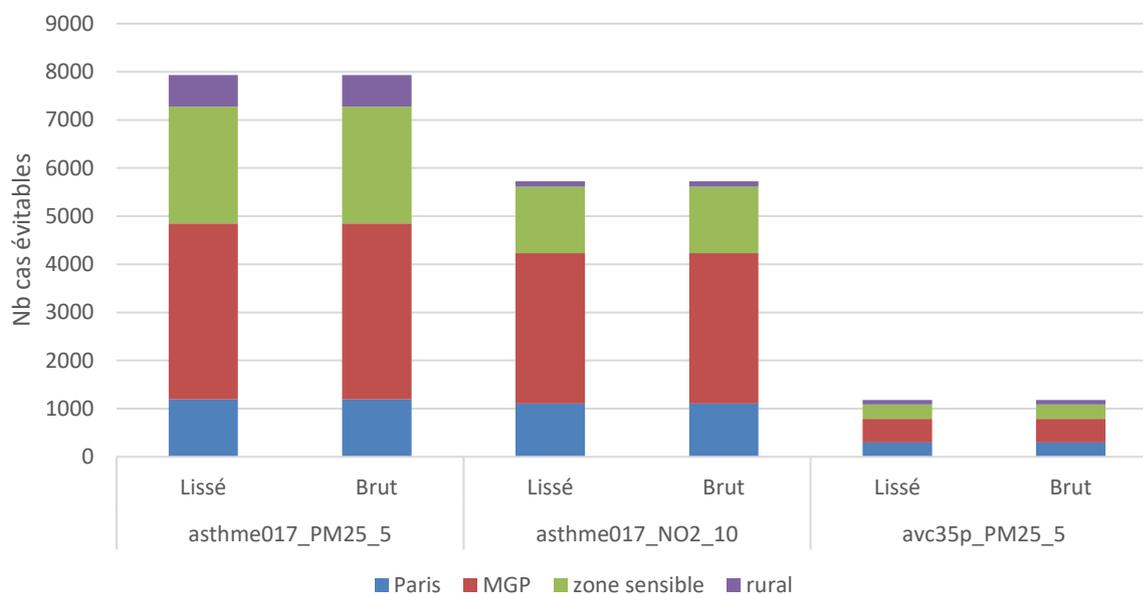
Cette analyse a permis de tester la robustesse à l'échelle d'une région des résultats malgré les fluctuations dues aux petits effectifs observés pour les petites communes.

Tableau 7 - Analyse comparative des résultats de l'EQIS pour 3 couples indicateurs/polluant pour le scénario OMS en Île-de-France (4 sous-territoires) selon deux approches d'estimation de l'incidence (2016-2019)

	Asthme 0-17 ans (sc. OMS PM _{2,5} 5 µg/m ³)		Asthme 0-17 ans (sc. OMS NO ₂ 10 µg/m ³)		AVC 35 ans et plus (sc. OMS PM _{2,5} 5 µg/m ³)		Écarts		
	Lissé	Brut	Lissé	Brut	Lissé	Brut	Asthme 0-17 ans (sc. OMS 5 PM _{2,5})	Asthme 0-17 ans (sc. OMS 10 NO ₂)	AVC 35 ans et plus (sc. OMS 5 PM _{2,5})
Paris	1 193,8	1 193,8	1 106,1	1 106,1	297,8	297,8	0,00%	0,00%	0,00%
Métropole du Grand Paris	3 652,2	3 652,1	3 127,9	3 127,7	491,4	491,3	0,00%	-0,01%	0,00%
Zone sensible*	2 429,9	2 427,8	1 376,8	1 376,0	298,2	298,2	-0,08%	-0,05%	0,01%
Grande couronne	657,0	658,0	116,5	116,9	93,7	93,8	0,16%	0,40%	0,12%
Total	7 932,8	7 931,7	5 727,2	5 726,8	1 181,0	1 181,1	-0,01%	-0,01%	0,01%

*Zone sensible : zone densément peuplée où le niveau de certains polluants dépasse les valeurs limites (par exemple NO₂). Les actions visant à améliorer la qualité de l'air dans cette zone sont considérées comme prioritaires. Ici cela correspond à l'agglomération parisienne.

Figure 2 - Analyse comparative des résultats de l'EQIS pour 3 couples indicateurs de santé/polluant pour le scénario OMS en Île-de-France (4 sous-territoires) selon deux approches d'estimation de l'incidence (2016-2019)



Annexe 4. Résultats régionaux

• PM_{2,5} et cancer du poumon

Tableau 1 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour le cancer du poumon (35 ans et plus), résultats régionaux (2016-2019)

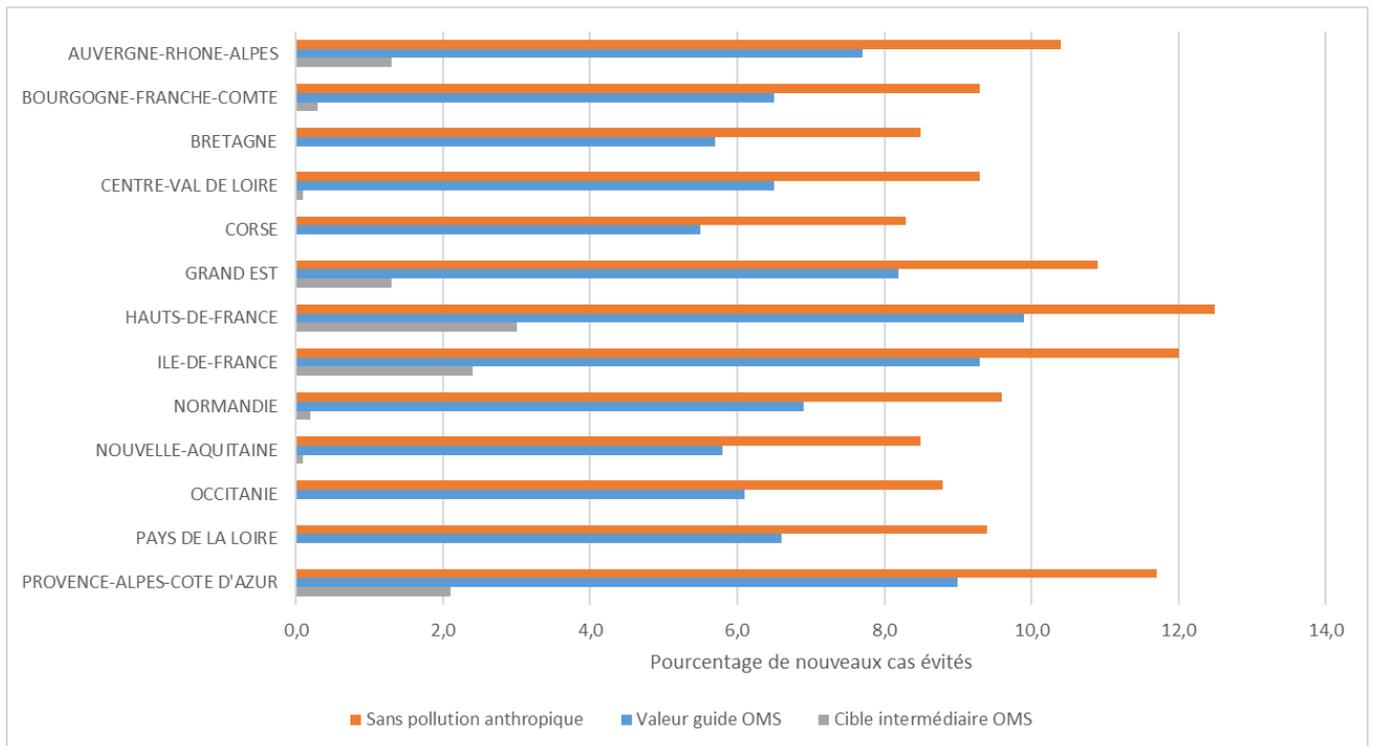
Régions	Scénario Poids total des PM _{2,5} (3 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS PM _{2,5} (5 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS PM _{2,5} (10 µg/m ³)		
	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée*	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée**	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)
Auvergne-Rhône-Alpes	468 (307 - 639)	10,4 (6,8 - 14,2)	347 (226 - 475)	7,7 (5 - 10,5)	74,0	56 (36 - 78)	1,3 (0,8 - 1,7)	12,1
Bourgogne-Franche-Comté	178 (116 - 243)	9,3 (6,1 - 12,7)	125 (82 - 172)	6,5 (4,3 - 9)	70,5	6 (4 - 8)	0,3 (0,2 - 0,4)	3,2
Bretagne	170 (111 - 233)	8,5 (5,5 - 11,7)	115 (75 - 159)	5,7 (3,7 - 7,9)	67,6	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Centre-Val de Loire	152 (99 - 208)	9,3 (6 - 12,7)	107 (70 - 147)	6,5 (4,2 - 9)	70,5	2 (1 - 3)	0,1 (0,1 - 0,2)	1,5
Corse	22 (15 - 31)	8,3 (5,4 - 11,3)	15 (10 - 20)	5,5 (3,6 - 7,6)	66,5	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Grand Est	423 (277 - 576)	10,9 (7,1 - 14,9)	319 (208 - 437)	8,2 (5,4 - 11,3)	75,4	52 (33 - 72)	1,3 (0,9 - 1,8)	12,2
Hauts-de-France	468 (308 - 636)	12,5 (8,2 - 17)	369 (242 - 505)	9,9 (6,5 - 13,5)	79,0	110 (71 - 153)	3 (1,9 - 4,1)	23,6
Île-de-France	730 (480 - 993)	12 (7,9 - 16,3)	568 (371 - 777)	9,3 (6,1 - 12,8)	77,9	146 (95 - 203)	2,4 (1,6 - 3,3)	20,1
Normandie	212 (139 - 290)	9,6 (6,3 - 13,1)	152 (99 - 209)	6,9 (4,5 - 9,5)	71,7	4 (3 - 6)	0,2 (0,1 - 0,3)	1,9
Nouvelle-Aquitaine	340 (222 - 466)	8,5 (5,6 - 11,7)	230 (150 - 318)	5,8 (3,8 - 8)	67,7	4 (2 - 5)	0,1 (0,1 - 0,1)	1,1
Occitanie	349 (228 - 478)	8,8 (5,8 - 12,1)	240 (156 - 331)	6,1 (4 - 8,4)	68,9	2 (1 - 3)	0 (0 - 0,1)	0,6
Pays de la Loire	185 (121 - 254)	9,4 (6,1 - 12,8)	131 (85 - 181)	6,6 (4,3 - 9,1)	70,8	1 (0 - 1)	0 (0 - 0,1)	0,4
Provence-Alpes-Côte d'Azur	405 (266 - 552)	11,7 (7,7 - 15,9)	313 (205 - 429)	9 (5,9 - 12,4)	77,3	73 (47 - 101)	2,1 (1,4 - 2,9)	17,9
France hexagonale	4 103 (2 688 - 5 599)	10,4 (6,8 - 14,1)	3 032 (1 977 - 4 160)	7,7 (5,0 - 10,5)	73,9***	456 (295 - 632)	1,2 (0,7 - 1,6)	11,1

* Estimation centrale et estimations basse et haute correspondant aux limites inférieure et supérieure de l'IC95% du RR.

** Pourcentage de l'estimation centrale.

*** Le poids total des PM_{2,5} sur les nouveaux cas de cancer du poumon représente 4 103 cas. Si la valeur de 5 µg/m³ de l'OMS était respectée, 73,9% de ces nouveaux cas de cancer du poumon (soit 3 032 nouveaux cas) seraient évités.

Figure 1 – Pourcentage de cas évités selon les différents scénarios de réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour le cancer du poumon (35 ans et plus), résultats régionaux (2016-2019)



- PM_{2,5} et BPCO

Tableau 2 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour la BPCO (40 ans et plus), résultats régionaux (2016-2019)

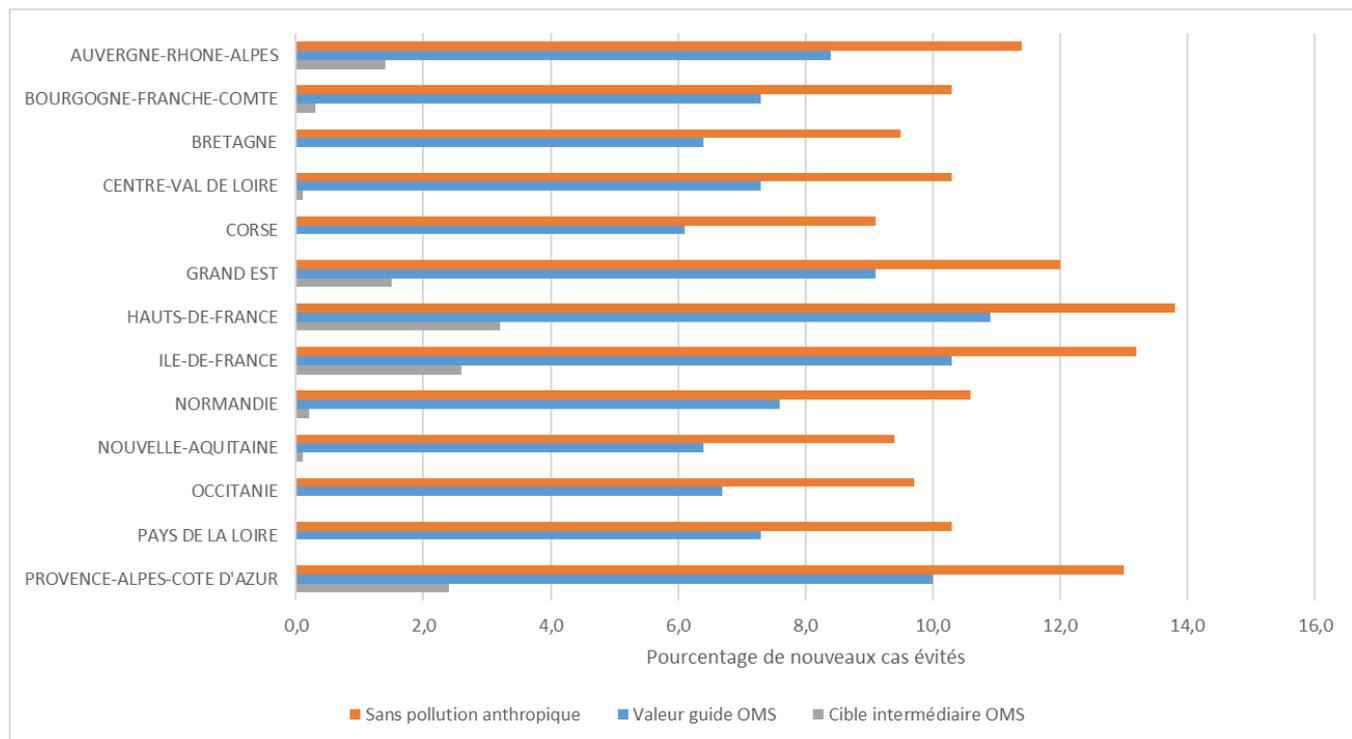
Régions	Scénario Poids total des PM _{2,5} (3 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS PM _{2,5} (5 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS PM _{2,5} (10 µg/m ³)		
	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée*	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée**	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)
Auvergne-Rhône-Alpes	2 353 (1 766 – 2 898)	11,4 (8,6 - 14,1)	1 739 (1 300 – 2 150)	8,4 (6,3 - 10,4)	73,9	284 (210 - 354)	1,4 (1 - 1,7)	12,1
Bourgogne-Franche-Comté	949 (711 - 1 170)	10,3 (7,7 - 12,7)	670 (500 - 830)	7,3 (5,4 - 9)	70,7	32 (24 - 40)	0,3 (0,3 - 0,4)	3,4
Bretagne	949 (710 - 1 172)	9,5 (7,1 - 11,7)	643 (479 - 798)	6,4 (4,8 - 8)	67,8	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Centre-Val de Loire	752 (563 - 928)	10,3 (7,7 - 12,7)	531 (396 - 658)	7,3 (5,4 - 9)	70,6	10 (8 - 13)	0,1 (0,1 - 0,2)	1,4
Corse	106 (80 - 132)	9,1 (6,8 - 11,3)	71 (53 - 88)	6,1 (4,5 - 7,6)	66,6	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Grand Est	2 441 (1 833 – 3 004)	12 (9 - 14,8)	1 841 (1 377 – 2 274)	9,1 (6,8 - 11,2)	75,4	297 (220 - 370)	1,5 (1,1 - 1,8)	12,2
Hauts-de-France	2 931 (2 207 – 3 599)	13,8 (10,4 - 16,9)	2 315 (1 736 – 2 854)	10,9 (8,2 - 13,4)	79,0	683 (507 - 849)	3,2 (2,4 - 4)	23,3
Île-de-France	3385 (2 546 - 4161)	13,2 (9,9 - 16,2)	2634 (1 973 – 3 250)	10,3 (7,7 - 12,6)	77,8	667 (495 - 830)	2,6 (1,9 - 3,2)	19,7
Normandie	1124 (842 – 1 387)	10,6 (8 - 13,1)	806 (601 - 998)	7,6 (5,7 - 9,4)	71,7	22 (16 - 28)	0,2 (0,2 - 0,3)	2,0
Nouvelle-Aquitaine	1977 (1 479 – 2 442)	9,4 (7 - 11,6)	1337 (996 – 1 658)	6,4 (4,7 - 7,9)	67,6	20 (15 - 25)	0,1 (0,1 - 0,1)	1,0
Occitanie	1964 (1 470 – 2 425)	9,7 (7,3 - 12)	1351 (1 007 – 1 675)	6,7 (5 - 8,3)	68,8	9 (7 - 12)	0 (0 - 0,1)	0,5
Pays de la Loire	843 (631 - 1040)	10,3 (7,7 - 12,7)	597 (445 - 739)	7,3 (5,4 - 9)	70,8	4 (3 - 4)	0 (0 - 0,1)	0,4
Provence-Alpes-Côte d'Azur	2467 (1 855 – 3 033)	13 (9,8 - 16)	1910 (1 430 – 2 357)	10 (7,5 - 12,4)	77,4	447 (332 - 558)	2,4 (1,7 - 2,9)	18,1
France hexagonale	22 242 (16 692 – 27 393)	11,4 (8,6 - 14,1)	16 445 (12 292 – 20 329)	8,5 (6,3 - 10,5)	73,9***	2 475 (1 836 – 3 082)	1,3 (0,9 - 1,6)	11,1

* Estimation centrale et estimations basse et haute correspondant aux limites inférieure et supérieure de l'IC95% du RR.

** Pourcentage de l'estimation centrale

*** Le poids total des PM_{2,5} sur les nouveaux cas de BPCO représente 22 242 cas. Si la valeur de 5 µg/m³ de l'OMS était respectée, 73,9% de ces nouveaux cas de cancer du poumon (soit 16 445 nouveaux cas) seraient évités.

Figure 2 – Pourcentage de cas évités selon les différents scénarios de réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour la BPCO (40 ans et plus), résultats régionaux (2016-2019)



• PM_{2,5} et asthme de l'enfant

Tableau 3 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour asthme de l'enfant (0-17 ans et plus), résultats régionaux (2016-2019)

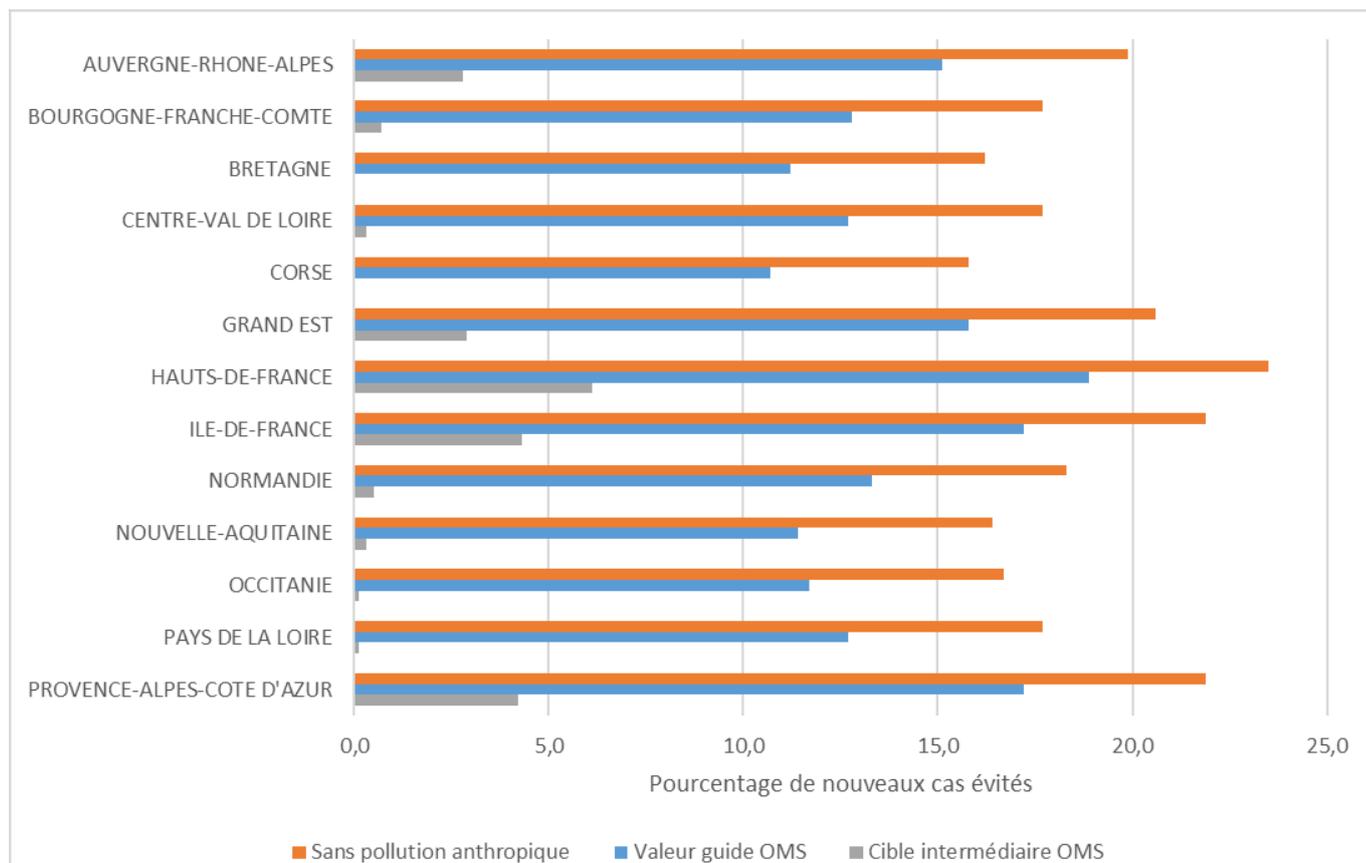
Régions	Scénario Poids total des PM _{2,5} (3 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS PM _{2,5} (5 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS PM _{2,5} (10 µg/m ³)		
	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée*	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée**	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)
Auvergne-Rhône-Alpes	4 751 (1669 - 7374)	19,9 (7 - 30,9)	3 600 (1242 - 5682)	15,1 (5,2 - 23,8)	75,8	670 (223 - 1 098)	2,8 (0,9 - 4,6)	14,1
Bourgogne-Franche-Comté	1 238 (430 - 1 939)	17,7 (6,2 - 27,8)	892 (304 - 1 422)	12,8 (4,4 - 20,4)	72,0	47 (16 - 78)	0,7 (0,2 - 1,1)	3,8
Bretagne	1 568 (542 - 2 472)	16,2 (5,6 - 25,6)	1 079 (366 - 1 733)	11,2 (3,8 - 17,9)	68,8	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Centre-Val de Loire	1 253 (435 - 1 965)	17,7 (6,1 - 27,7)	902 (307 - 1 439)	12,7 (4,3 - 20,3)	71,9	22 (7 - 36)	0,3 (0,1 - 0,5)	1,7
Corse	159 (55 - 251)	15,8 (5,4 - 24,9)	108 (36 - 173)	10,7 (3,6 - 17,2)	67,9	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Grand Est	2 996 (1 054 - 4 641)	20,6 (7,2 - 31,9)	2 298 (794 - 3 622)	15,8 (5,5 - 24,9)	76,7	417 (139 - 683)	2,9 (1 - 4,7)	13,9
Hauts-de-France	4 611 (1641 - 7067)	23,5 (8,4 - 36)	3 705 (1 295 - 5 776)	18,9 (6,6 - 29,4)	80,4	1 196 (400 - 1 943)	6,1 (2 - 9,9)	25,9
Île-de-France	8 441 (2 985 - 13 018)	21,9 (7,7 - 33,8)	6 627 (2 301 - 10 397)	17,2 (6 - 27)	78,5	1 639 (545 - 2 679)	4,3 (1,4 - 7)	19,4
Normandie	2 091 (728 - 3 272)	18,3 (6,4 - 28,6)	1 527 (522 - 2 432)	13,3 (4,6 - 21,2)	73,0	52 (17 - 86)	0,5 (0,1 - 0,8)	2,5
Nouvelle-Aquitaine	3 116 (1 078 - 4 906)	16,4 (5,7 - 25,9)	2 160 (733 - 3 462)	11,4 (3,9 - 18,2)	69,3	47 (16 - 79)	0,3 (0,1 - 0,4)	1,5
Occitanie	3 949 (1 367 - 6 213)	16,7 (5,8 - 26,4)	2 765 (939 - 4 430)	11,7 (4 - 18,8)	70,0	17 (5 - 28)	0,1 (0 - 0,1)	0,4
Pays de la Loire	1 942 (675 - 3 046)	17,7 (6,1 - 27,8)	1 398 (476 - 2 232)	12,7 (4,3 - 20,3)	72,0	10 (3 - 17)	0,1 (0 - 0,2)	0,5
Provence-Alpes-Côte d'Azur	3 426 (1 211 - 5 287)	21,9 (7,7 - 33,8)	2 689 (933 - 4 222)	17,2 (6 - 27)	78,5	657 (218 - 1 078)	4,2 (1,4 - 6,9)	19,2
France hexagonale	39 541 (13 870 - 61 451)	19,6 (6,9 - 30,4)	29 749 (10 249 - 47 025)	14,7 (5,1 - 23,3)	75,2***	4 774 (1 588 - 7 804)	2,4 (0,8 - 3,9)	12,1

* Estimation centrale et estimations basse et haute correspondant aux limites inférieure et supérieure de l'IC95% du RR.

** Pourcentage de l'estimation centrale.

*** Le poids total des PM_{2,5} sur les nouveaux cas d'asthme de l'enfant représente 39 541 cas. Si la valeur de 5 µg/m³ de l'OMS était respectée, 75,2% de ces nouveaux cas d'asthme (soit 29 749 nouveaux cas) seraient évités.

Figure 3 – Pourcentage de cas évités selon les différents scénarios de réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour asthme de l'enfant (0-17 ans et plus), résultats régionaux (2016-2019)



• PM_{2,5} et accident vasculaire cérébral

Tableau 4 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour AVC (35 ans et plus), résultats régionaux (2016-2019)

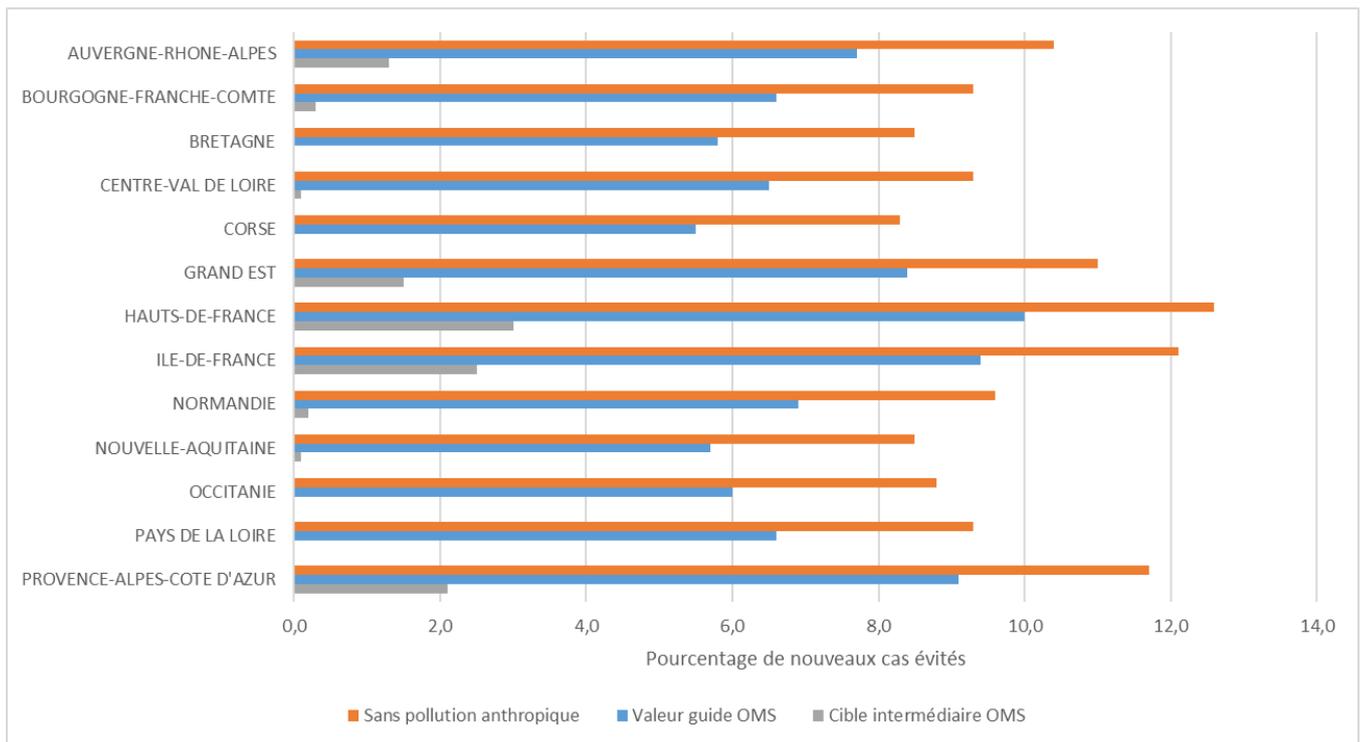
Régions	Scénario Poids total des PM _{2,5} (3 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS PM _{2,5} (5 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS PM _{2,5} (10 µg/m ³)		
	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée*	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée**	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)
Auvergne-Rhône-Alpes	1 135 (878 - 1 377)	10,4 (8,1 - 12,6)	841 (649 - 1 023)	7,7 (6 - 9,4)	74,1	141 (108 - 173)	1,3 (1 - 1,6)	12,5
Bourgogne-Franche-Comté	429 (331 - 521)	9,3 (7,2 - 11,3)	303 (233 - 369)	6,6 (5 - 8)	70,6	14 (10 - 17)	0,3 (0,2 - 0,4)	3,2
Bretagne	526 (406 - 639)	8,5 (6,6 - 10,4)	356 (274 - 435)	5,8 (4,5 - 7,1)	67,8	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Centre-Val de Loire	367 (284 - 446)	9,3 (7,2 - 11,3)	259 (200 - 316)	6,5 (5 - 8)	70,5	6 (4 - 7)	0,1 (0,1 - 0,2)	1,6
Corse	39 (30 - 47)	8,3 (6,4 - 10,1)	26 (20 - 32)	5,5 (4,2 - 6,7)	66,7	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Grand Est	886 (686 - 1 073)	11 (8,5 - 13,4)	670 (517 - 815)	8,4 (6,4 - 10,2)	75,7	117 (90 - 144)	1,5 (1,1 - 1,8)	13,3
Hauts-de-France	1 152 (894 - 1 394)	12,6 (9,8 - 15,2)	911 (704 - 1 106)	10 (7,7 - 12,1)	79,1	277 (213 - 339)	3 (2,3 - 3,7)	24,1
Île-de-France	1 806 (1400 - 2186)	12,1 (9,3 - 14,6)	1 409 (1089 - 1 711)	9,4 (7,3 - 11,4)	78,0	373 (286 - 456)	2,5 (1,9 - 3)	20,6
Normandie	497 (384 - 603)	9,6 (7,4 - 11,7)	356 (274 - 434)	6,9 (5,3 - 8,4)	71,7	10 (8 - 12)	0,2 (0,1 - 0,2)	2,0
Nouvelle-Aquitaine	881 (680 - 1 071)	8,5 (6,5 - 10,3)	594 (457 - 725)	5,7 (4,4 - 7)	67,5	9 (7 - 11)	0,1 (0,1 - 0,1)	1,0
Occitanie	838 (647 - 1 019)	8,8 (6,8 - 10,7)	575 (443 - 702)	6 (4,6 - 7,3)	68,6	4 (3 - 5)	0 (0 - 0)	0,5
Pays de la Loire	524 (405 - 637)	9,3 (7,2 - 11,3)	371 (286 - 452)	6,6 (5,1 - 8,1)	70,8	2 (2 - 3)	0 (0 - 0)	0,4
Provence-Alpes-Côte d'Azur	936 (725 - 1 134)	11,7 (9,1 - 14,2)	724 (559 - 880)	9,1 (7 - 11)	77,3	170 (130 - 208)	2,1 (1,6 - 2,6)	18,2
France hexagonale	10 016 (7 749 ; 12 149)	10,3 (8 - 12,5)	7 396 (5 704 ; 8 999)	7,6 (5,9 - 9,3)	73,9***	1 123 (861 ; 1 375)	1,2 (0,9 - 1,4)	11,2

* Estimation centrale et estimations basse et haute correspondant aux limites inférieure et supérieure de l'IC95% du RR.

** Pourcentage de l'estimation centrale.

*** Le poids total des PM_{2,5} sur les nouveaux cas d'AVC représente 10 016 cas. Si la valeur de 5 µg/m³ de l'OMS était respectée, 73,9% de ces nouveaux cas d'AVC (soit 7 396 nouveaux cas) seraient évités.

Figure 4– Pourcentage de cas évités selon les différents scénarios de réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour AVC (35 ans et plus), résultats régionaux (2016-2019)



• PM_{2,5} et infarctus aigu du myocarde

Tableau 5 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour IAM (30 ans et plus), résultats régionaux (2016-2019)

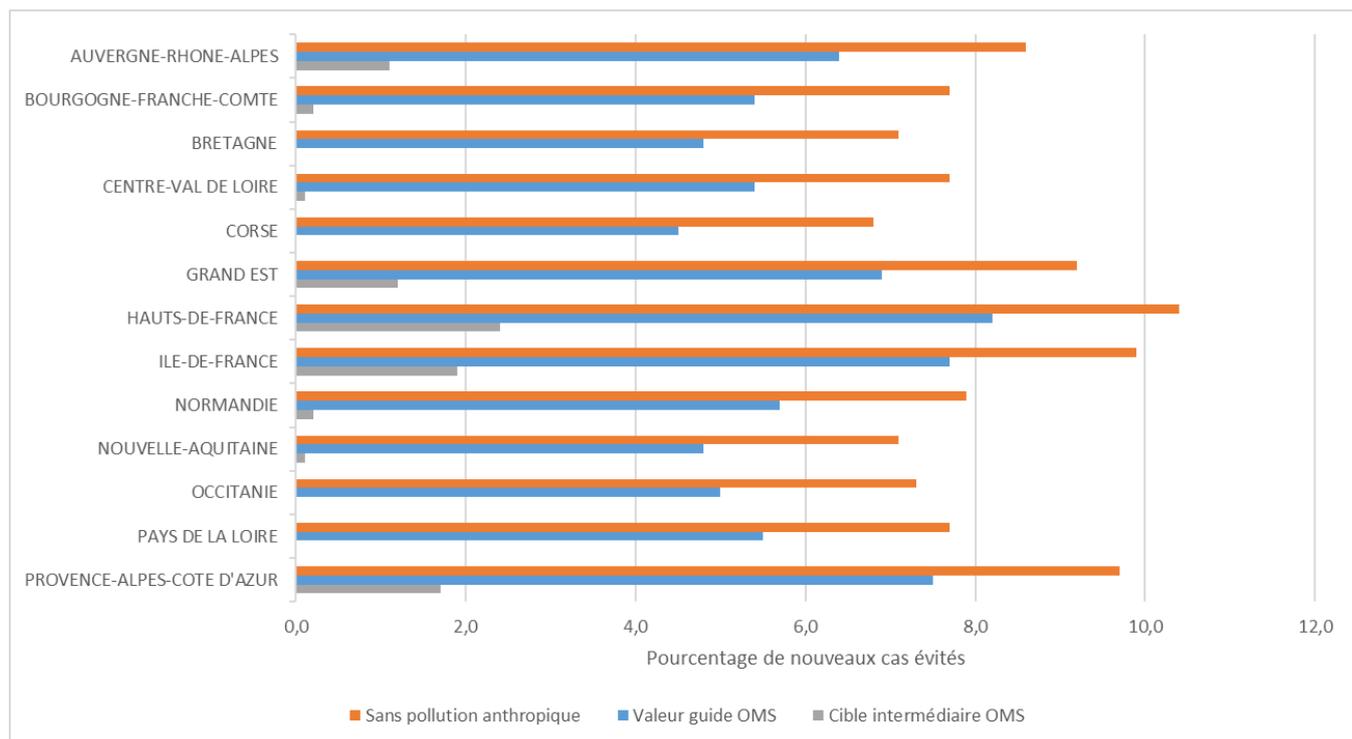
Régions	Scénario Poids total des PM _{2,5} (3 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS PM _{2,5} (5 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS PM _{2,5} (10 µg/m ³)		
	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée*	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée**	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)
Auvergne-Rhône-Alpes	960 (394 - 1 518)	8,6 (3,5 - 13,6)	709 (289 - 1 128)	6,4 (2,6 - 10,1)	73,8	118 (47 - 190)	1,1 (0,4 - 1,7)	12,3
Bourgogne-Franche-Comté	374 (153 - 594)	7,7 (3,1 - 12,2)	263 (107 - 420)	5,4 (2,2 - 8,6)	70,2	12 (5 - 19)	0,2 (0,1 - 0,4)	3,1
Bretagne	377 (154 - 600)	7,1 (2,9 - 11,3)	255 (104 - 409)	4,8 (2 - 7,7)	67,7	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Centre-Val de Loire	306 (125 - 485)	7,7 (3,1 - 12,1)	214 (87 - 343)	5,4 (2,2 - 8,6)	70,1	4 (2 - 7)	0,1 (0 - 0,2)	1,4
Corse	36 (15 - 57)	6,8 (2,8 - 10,9)	24 (10 - 38)	4,5 (1,8 - 7,2)	66,2	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Grand Est	809 (333 - 1 278)	9,2 (3,8 - 14,5)	611 (249 - 971)	6,9 (2,8 - 11)	75,5	106 (43 - 171)	1,2 (0,5 - 1,9)	13,1
Hauts-de-France	870 (359 - 1 368)	10,4 (4,3 - 16,4)	685 (281 - 1 085)	8,2 (3,4 - 13)	78,7	203 (82 - 327)	2,4 (1 - 3,9)	23,3
Île-de-France	1 261 (519 - 1 985)	9,9 (4,1 - 15,6)	977 (400 - 1 551)	7,7 (3,1 - 12,2)	77,5	246 (99 - 396)	1,9 (0,8 - 3,1)	19,5
Normandie	438 (179 - 694)	7,9 (3,2 - 12,6)	312 (127 - 498)	5,7 (2,3 - 9)	71,3	8 (3 - 14)	0,2 (0,1 - 0,2)	1,9
Nouvelle-Aquitaine	752 (307 - 1 195)	7,1 (2,9 - 11,3)	508 (206 - 813)	4,8 (1,9 - 7,7)	67,5	8 (3 - 13)	0,1 (0 - 0,1)	1,1
Occitanie	705 (288 - 1 120)	7,3 (3 - 11,6)	482 (196 - 772)	5 (2 - 8)	68,5	4 (1 - 6)	0 (0 - 0,1)	0,5
Pays de la Loire	399 (163 - 633)	7,7 (3,2 - 12,3)	281 (114 - 449)	5,5 (2,2 - 8,7)	70,5	2 (1 - 3)	0 (0 - 0,1)	0,4
Provence-Alpes-Côte d'Azur	859 (353 - 1 354)	9,7 (4 - 15,3)	661 (270 - 1 050)	7,5 (3,1 - 11,9)	77,0	150 (60 - 243)	1,7 (0,7 - 2,7)	17,5
France hexagonale	8 145 (3 342 - 12 881)	8,5 (3,5 - 13,5)	5 982 (2 438 - 9 527)	6,3 (2,6 - 10,0)	73,5***	860 (346 - 1 388)	0,9 (0,4 - 1,5)	10,6

* Estimation centrale et estimations basse et haute correspondant aux limites inférieure et supérieure de l'IC95% du RR.

** Pourcentage de l'estimation centrale.

*** Le poids total des PM_{2,5} sur les nouveaux cas d'infarctus du myocarde représente 8 145 cas. Si la valeur de 5 µg/m³ de l'OMS était respectée, 73,5% de ces nouveaux cas d'infarctus du myocarde (soit 5 982 nouveaux cas) seraient évités.

Figure 5 – Pourcentage de cas évités selon les différents scénarios de réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour IAM (30 ans et plus), résultats régionaux (2016-2019)



• PM_{2,5} et hypertension artérielle

Tableau 6 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour HTA (18 ans et plus), résultats régionaux (2016-2019)

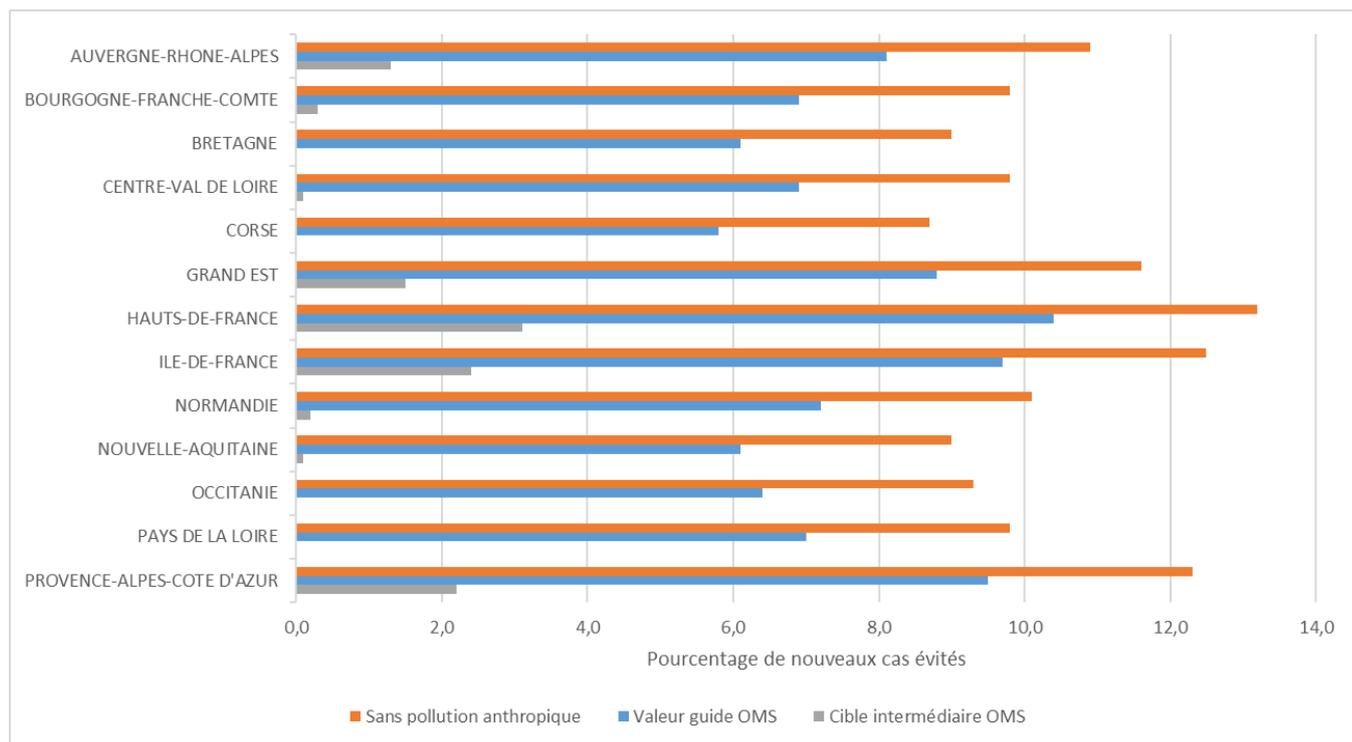
Régions	Scénario Poids total des PM _{2,5} (3 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS PM _{2,5} (5 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS PM _{2,5} (10 µg/m ³)		
	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée*	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée**	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)
Auvergne-Rhône-Alpes	8 984 (2 908 - 14 437)	10,9 (3,5 - 17,5)	6 644 (2 129 - 10 778)	8,1 (2,6 - 13,1)	74,0	1 067 (335 - 1 766)	1,3 (0,4 - 2,1)	11,9
Bourgogne-Franche-Comté	3 158 (1 017 - 5 100)	9,8 (3,1 - 15,8)	2 227 (710 - 3 631)	6,9 (2,2 - 11,2)	70,5	99 (31 - 164)	0,3 (0,1 - 0,5)	3,1
Bretagne	3 031 (973 - 4 909)	9,0 (2,9 - 14,7)	2 059 (654 - 3 368)	6,1 (2,0 - 10,1)	67,9	0 (0 - 0)	0,0 (0,0 - 0,0)	0,0
Centre-Val de Loire	2 864 (922 - 4 626)	9,8 (3,2 - 15,8)	2 022 (644 - 3 299)	6,9 (2,2 - 11,3)	70,6	41 (13 - 68)	0,1 (0,0 - 0,2)	1,4
Corse	342 (110 - 554)	8,7 (2,8 - 14,1)	227 (72 - 371)	5,8 (1,8 - 9,4)	66,4	0 (0 - 0)	0,0 (0,0 - 0,0)	0,0
Grand Est	7 398 (2 400 - 11 866)	11,6 (3,8 - 18,6)	5 595 (1 796 - 9 061)	8,8 (2,8 - 14,2)	75,6	958 (301 - 1 583)	1,5 (0,5 - 2,5)	13,0
Hauts-de-France	10 092 (3 292 - 16 097)	13,2 (4,3 - 21,0)	7 969 (2 573 - 12 835)	10,4 (3,4 - 16,7)	79,0	2 365 (745 - 3 898)	3,1 (1,0 - 5,1)	23,4
Île-de-France	14 413 (4 690 - 23 044)	12,5 (4,1 - 19,9)	11 188 (3 604 - 18 063)	9,7 (3,1 - 15,6)	77,6	2 764 (870 - 4 563)	2,4 (0,8 - 4,0)	19,2
Normandie	4 020 (1 296 - 6 486)	10,1 (3,3 - 16,3)	2 881 (919 - 4 694)	7,2 (2,3 - 11,8)	71,7	75 (24 - 126)	0,2 (0,1 - 0,3)	1,9
Nouvelle-Aquitaine	6 266 (2 012 - 10 147)	9,0 (2,9 - 14,6)	4 246 (1 349 - 6 945)	6,1 (1,9 - 10,0)	67,7	64 (20 - 106)	0,1 (0,0 - 0,2)	1,0
Occitanie	6 228 (2 002 - 10 078)	9,3 (3,0 - 15,0)	4 287 (1 363 - 7 007)	6,4 (2,0 - 10,4)	68,8	32 (10 - 54)	0,0 (0,0 - 0,1)	0,5
Pays de la Loire	3 717 (1 197 - 6 004)	9,9 (3,2 - 15,9)	2 632 (839 - 4 294)	7,0 (2,2 - 11,4)	70,8	15 (5 - 25)	0,0 (0,0 - 0,1)	0,4
Provence-Alpes-Côte d'Azur	7 487 (2 434 - 11 981)	12,3 (4,0 - 19,7)	5 788 (1 862 - 9 354)	9,5 (3,1 - 15,4)	77,3	1 340 (421 - 2 219)	2,2 (0,7 - 3,7)	17,9
France hexagonale	78 001 (25 253 - 125 329)	10,9 (3,5 - 17,6)	57 764 (18 514 - 93 701)	8,1 (2,6 - 13,2)	74,1***	8 820 (2 773 - 14 571)	1,2 (0,4 - 2)	11,3

* Estimation centrale et estimations basse et haute correspondant aux limites inférieure et supérieure de l'IC95% du RR.

** Pourcentage de l'estimation centrale.

*** Le poids total des PM_{2,5} sur les nouveaux cas d'hypertension artérielle représente 78 001 cas. Si la valeur de 5 µg/m³ de l'OMS était respectée, 74,1 % de ces nouveaux cas d'hypertension artérielle (soit 57 764 nouveaux cas) seraient évités.

Figure 6 – Pourcentage de cas évités selon les différents scénarios de réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour HTA (18 ans et plus), résultats régionaux (2016-2019)



• PM_{2,5} et diabète de type 2 chez les 45 ans et plus

Tableau 7 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour diabète de type 2 (45 ans et plus), résultats régionaux (2016-2019)

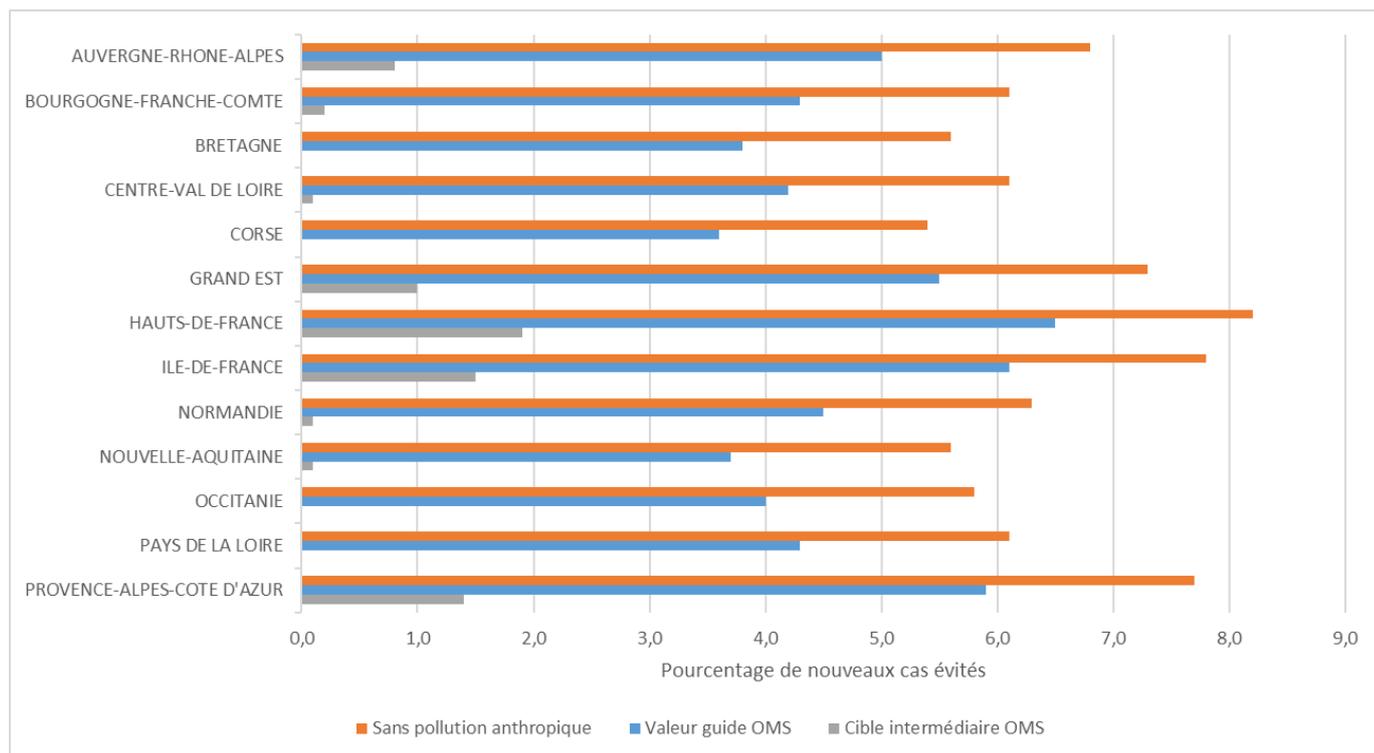
Régions	Scénario Poids total des PM _{2,5} (3 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS PM _{2,5} (5 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS PM _{2,5} (10 µg/m ³)		
	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée*	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée**	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	Pourcentage moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)
Auvergne-Rhône-Alpes	1 659 (528 - 2 806)	6,8 (2,2 - 11,6)	1 224 (387 - 2 083)	5 (1,6 - 8,6)	73,8	203 (63 - 350)	0,8 (0,3 - 1,4)	12,2
Bourgogne-Franche-Comté	600 (190 - 1 018)	6,1 (1,9 - 10,3)	421 (133 - 720)	4,3 (1,3 - 7,3)	70,2	20 (6 - 34)	0,2 (0,1 - 0,3)	3,3
Bretagne	450 (142 - 765)	5,6 (1,8 - 9,5)	304 (95 - 520)	3,8 (1,2 - 6,5)	67,5	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Centre-Val de Loire	547 (173 - 929)	6,1 (1,9 - 10,3)	384 (121 - 656)	4,2 (1,3 - 7,3)	70,1	8 (2 - 14)	0,1 (0 - 0,1)	1,4
Corse	62 (20 - 106)	5,4 (1,7 - 9,2)	41 (13 - 71)	3,6 (1,1 - 6,1)	66,2	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Grand Est	1 422 (453 - 2 402)	7,3 (2,3 - 12,2)	1 072 (339 - 1 823)	5,5 (1,7 - 9,3)	75,4	190 (59 - 327)	1 (0,3 - 1,7)	13,4
Hauts-de-France	1 773 (567 - 2 984)	8,2 (2,6 - 13,9)	1 394 (443 - 2 361)	6,5 (2,1 - 11)	78,6	413 (129 - 711)	1,9 (0,6 - 3,3)	23,3
Île-de-France	3 019 (963 - 5 089)	7,8 (2,5 - 13,2)	2 336 (740 - 3 962)	6,1 (1,9 - 10,3)	77,4	583 (182 - 1 004)	1,5 (0,5 - 2,6)	19,3
Normandie	697 (221 - 1 182)	6,3 (2 - 10,7)	497 (157 - 849)	4,5 (1,4 - 7,7)	71,3	14 (4 - 24)	0,1 (0 - 0,2)	2,0
Nouvelle-Aquitaine	1 101 (348 - 1 872)	5,6 (1,8 - 9,5)	742 (233 - 1 269)	3,7 (1,2 - 6,4)	67,3	11 (4 - 20)	0,1 (0 - 0,1)	1,0
Occitanie	1 090 (345 - 1 852)	5,8 (1,8 - 9,8)	747 (235 - 1 279)	4 (1,2 - 6,8)	68,6	6 (2 - 10)	0 (0 - 0,1)	0,5
Pays de la Loire	626 (198 - 1 063)	6,1 (1,9 - 10,4)	441 (139 - 754)	4,3 (1,4 - 7,4)	70,5	3 (1 - 5)	0 (0 - 0)	0,4
Provence-Alpes-Côte d'Azur	1 428 (455 - 2 408)	7,7 (2,5 - 13)	1 100 (348 - 1 867)	5,9 (1,9 - 10,1)	77,0	257 (80 - 444)	1,4 (0,4 - 2,4)	18,0
France hexagonale	14 476 (4 604 – 24 475)	6,9 (2,2 - 11,6)	10 702 (3 383 – 18 211)	5,1 (1,6 - 8,6)	73,9***	1 708 (533 – 2 943)	0,8 (0,3 - 1,4)	11,8

* Estimation centrale et estimations basse et haute correspondant aux limites inférieure et supérieure de l'IC95% du RR.

** Pourcentage de l'estimation centrale.

*** Le poids total des PM_{2,5} sur les nouveaux cas de diabète de type 2 représente 14 476 cas. Si la valeur de 5 µg/m³ de l'OMS était respectée, 73,9% de ces nouveaux cas (soit 10 702 nouveaux cas) seraient évités.

Figure 7 – Pourcentage de cas évités selon les différents scénarios de réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour diabète de type 2 (45 ans et plus), résultats régionaux (2016-2019)



• NO₂ et asthme de l'enfant

Tableau 8 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de NO₂ pour asthme de l'enfant (0-17 ans et plus), résultats régionaux (2016-2019)

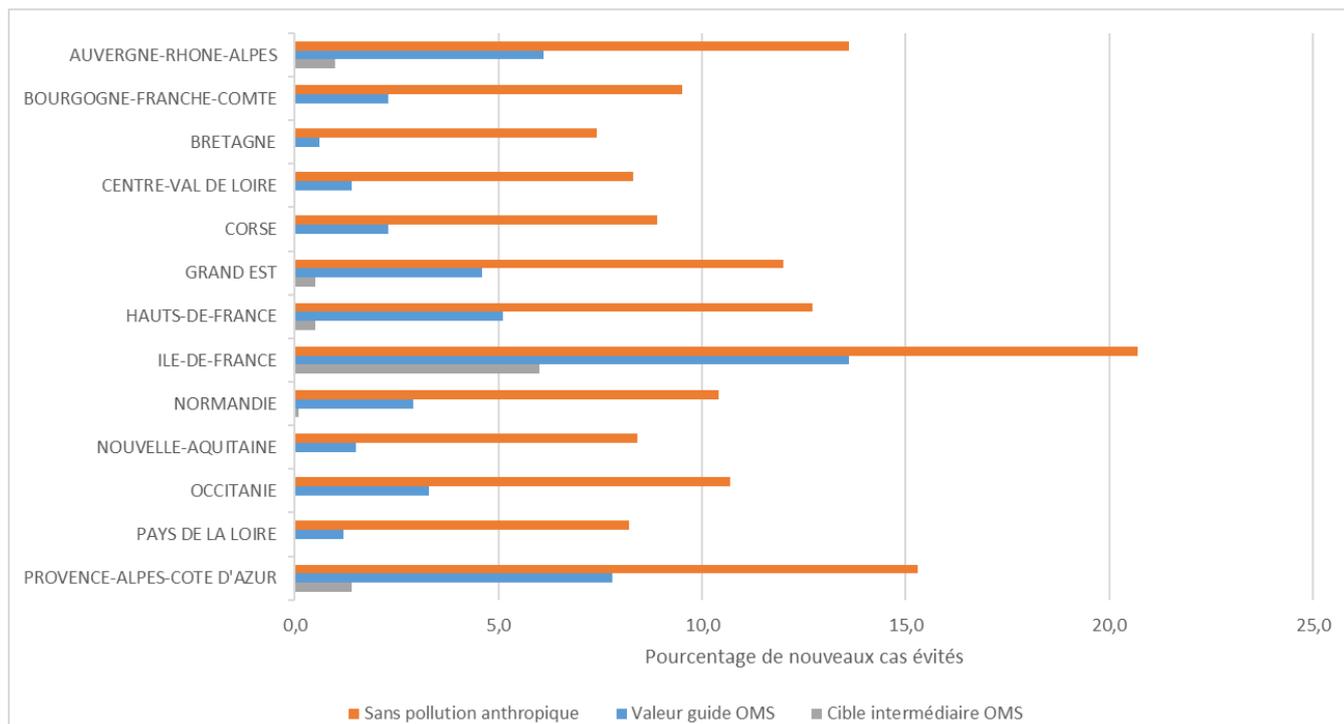
Régions	Scénario Poids total des NO ₂ (1 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS NO ₂ (10 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS NO ₂ (20 µg/m ³)		
	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée*	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée*	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des NO ₂ (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des NO ₂ (%)
Auvergne-Rhône-Alpes	3 238 (1 724 - 5 303)	13,6 (7,2 - 22,2)	1 457 (765 - 2 439)	6,1 (3,2 - 10,2)	45,0	232 (120 - 396)	1 (0,5 - 1,7)	7,2
Bourgogne-Franche-Comté	662 (348 - 1 103)	9,5 (5 - 15,8)	163 (85 - 277)	2,3 (1,2 - 4)	24,6	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Bretagne	714 (373 - 1 203)	7,4 (3,9 - 12,4)	63 (32 - 107)	0,6 (0,3 - 1,1)	8,8	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Centre-Val de Loire	585 (307 - 981)	8,3 (4,3 - 13,8)	102 (53 - 174)	1,4 (0,7 - 2,5)	17,4	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Corse	90 (47 - 149)	8,9 (4,7 - 14,9)	23 (12 - 38)	2,3 (1,2 - 3,8)	25,3	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Grand Est	1 743 (924 - 2 872)	12 (6,3 - 19,7)	666 (349 - 1 119)	4,6 (2,4 - 7,7)	38,2	71 (37 - 121)	0,5 (0,3 - 0,8)	4,1
Hauts-de-France	2 497 (1 325 - 4 109)	12,7 (6,7 - 20,9)	1 010 (528 - 1 700)	5,1 (2,7 - 8,7)	40,5	93 (48 - 160)	0,5 (0,2 - 0,8)	3,7
Île-de-France	7 979 (4 335 - 12 702)	20,7 (11,2 - 33)	5 251 (2 805 - 8 568)	13,6 (7,3 - 22,2)	65,8	2 306 (1 211 - 3 855)	6 (3,1 - 10)	28,9
Normandie	1 187 (626 - 1 972)	10,4 (5,5 - 17,2)	334 (174 - 566)	2,9 (1,5 - 4,9)	28,2	10 (5 - 18)	0,1 (0 - 0,2)	0,9
Nouvelle-Aquitaine	1 588 (833 - 2 660)	8,4 (4,4 - 14)	292 (151 - 497)	1,5 (0,8 - 2,6)	18,4	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Occitanie	2 518 (1 330 - 4 178)	10,7 (5,6 - 17,7)	780 (406 - 1 321)	3,3 (1,7 - 5,6)	31,0	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Pays de la Loire	896 (470 - 1 505)	8,2 (4,3 - 13,7)	134 (69 - 230)	1,2 (0,6 - 2,1)	15,0	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Provence-Alpes-Côte d'Azur	2 390 (1 277 - 3 895)	15,3 (8,2 - 24,9)	1 224 (643 - 2 044)	7,8 (4,1 - 13,1)	51,2	214 (111 - 367)	1,4 (0,7 - 2,3)	9,0
France hexagonale	26 087 (13 921 - 42 633)	12,9 (6,9 - 21,1)	11 498 (6 071 - 19 082)	5,7 (3 - 9,4)	44,1****	2 927 (1 532 - 4 917)	1,4 (0,8 - 2,4)	11,2

* Estimation centrale et estimations basse et haute correspondant aux limites inférieure et supérieure de l'IC95% du RR.

** Pourcentage de l'estimation centrale.

*** Le poids total de NO₂ sur les nouveaux cas d'asthme de l'enfant représente 26 087 cas. Si la valeur de 5 µg/m³ de l'OMS était respectée, 44,1% de ces nouveaux cas (soit 11 498 nouveaux cas) seraient évités.

Figure 8 – Pourcentage de cas évités selon les différents scénarios de réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour asthme de l'enfant (0-17 ans et plus), résultats régionaux (2016-2019)



• NO₂ et asthme de l'adulte

Tableau 9 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de NO₂ pour l'asthme de l'adulte (18-39 ans et plus), résultats régionaux (2016-2019)

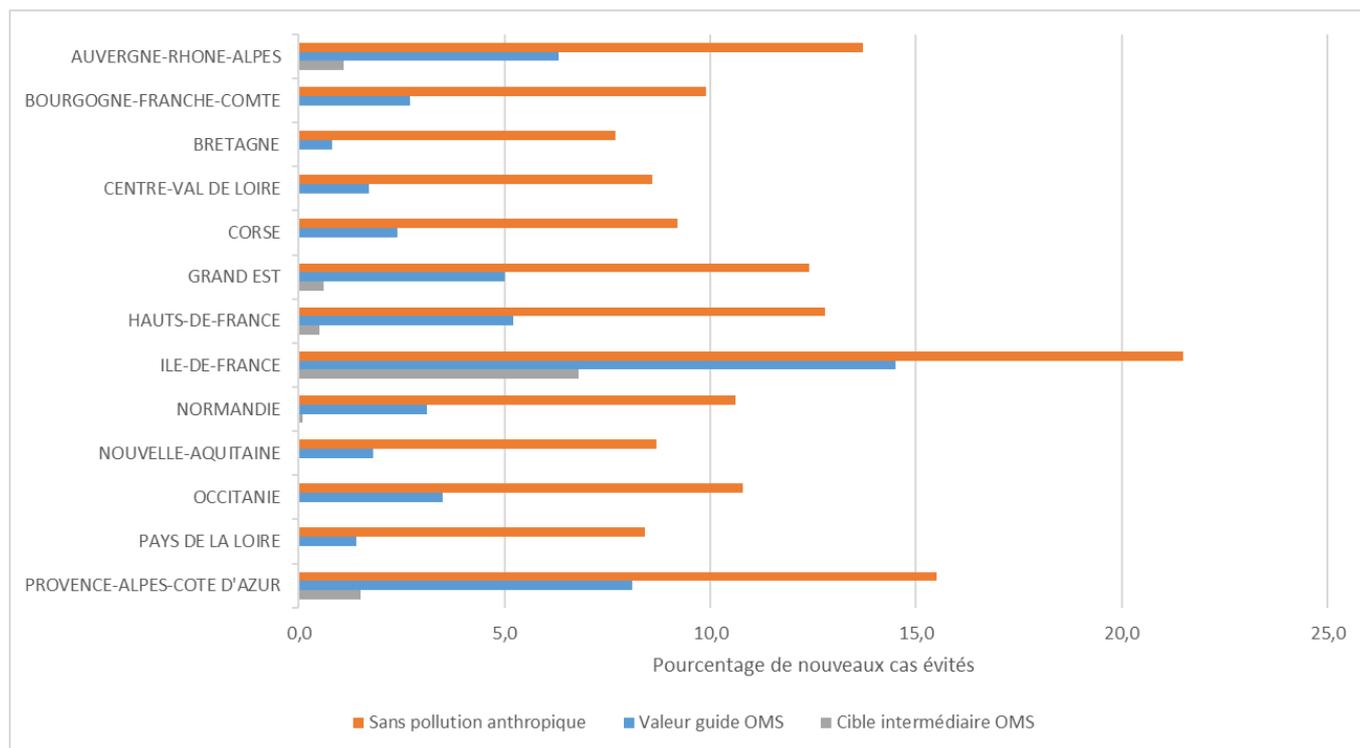
Régions	Scénario Poids total des NO ₂ (1 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS NO ₂ (10 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS NO ₂ (20 µg/m ³)		
	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée*	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée*	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des NO ₂ (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des NO ₂ (%)
Auvergne-Rhône-Alpes	1 466 (165 - 2 705)	13,7 (1,5 - 25,3)	673 (74 - 1 280)	6,3 (0,7 - 12)	46,0	117 (12 - 228)	1,1 (0,1 - 2,1)	8,0
Bourgogne-Franche-Comté	343 (38 - 648)	9,9 (1,1 - 18,7)	93 (10 - 180)	2,7 (0,3 - 5,2)	27,0	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Bretagne	313 (34 - 600)	7,7 (0,8 - 14,7)	35 (4 - 68)	0,8 (0,1 - 1,7)	11,1	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Centre-Val de Loire	285 (31 - 543)	8,6 (0,9 - 16,4)	55 (6 - 108)	1,7 (0,2 - 3,3)	19,4	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Corse	46 (5 - 87)	9,2 (1 - 17,3)	12 (1 - 24)	2,4 (0,3 - 4,7)	26,8	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Grand Est	1 019 (114 - 1 894)	12,4 (1,4 - 23)	410 (45 - 783)	5 (0,5 - 9,5)	40,3	49 (5 - 96)	0,6 (0,1 - 1,2)	4,8
Hauts-de-France	1 197 (134 - 2 225)	12,8 (1,4 - 23,8)	488 (53 - 935)	5,2 (0,6 - 10)	40,8	46 (5 - 90)	0,5 (0,1 - 1)	3,8
Île-de-France	3 969 (465 - 7 030)	21,5 (2,5 - 38)	2 672 (303 - 4 894)	14,5 (1,6 - 26,5)	67,3	1 251 (137 - 2 369)	6,8 (0,7 - 12,8)	31,5
Normandie	491 (54 - 923)	10,6 (1,2 - 19,9)	144 (16 - 278)	3,1 (0,3 - 6)	29,4	4 (0 - 9)	0,1 (0 - 0,2)	0,9
Nouvelle-Aquitaine	763 (84 - 1 450)	8,7 (1 - 16,6)	160 (17 - 312)	1,8 (0,2 - 3,6)	21,0	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Occitanie	928 (103 - 1 742)	10,8 (1,2 - 20,3)	301 (32 - 582)	3,5 (0,4 - 6,8)	32,5	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Pays de la Loire	389 (42 - 742)	8,4 (0,9 - 16)	64 (7 - 125)	1,4 (0,1 - 2,7)	16,4	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Provence-Alpes-Côte d'Azur	1 163 (132 - 2 131)	15,5 (1,8 - 28,4)	609 (67 - 1 154)	8,1 (0,9 - 15,4)	52,4	115 (12 - 226)	1,5 (0,2 - 3)	9,9
France hexagonale	12 372 (1 400 – 22 723)	13,4 (1,5 – 24,6)	5 717 (634 – 10 724)	6,2 (0,7 – 11,6)	46,2****	1 582 (173 – 3 018)	1,7 (0,2 – 3,3)	12,8

* Estimation centrale et estimations basse et haute correspondant aux limites inférieure et supérieure de l'IC95% du RR.

** Pourcentage de l'estimation centrale.

*** Le poids total du NO₂ sur les nouveaux cas d'asthme de l'adulte représente 12 372 cas. Si la valeur de 5 µg/m³ de l'OMS était respectée, 46,2% de ces nouveaux cas (soit 5 717 nouveaux cas) seraient évités.

Figure 9 – Pourcentage de cas évités selon les différents scénarios de réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour l’asthme de l’adulte (18-39 ans et plus), résultats régionaux (2016-2019)



- NO₂ et pneumopathies et autres infections aiguës des voies respiratoires inférieures (grippe exclue) (ALRI)

Tableau 10 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de NO₂ pour ALRI chez l'enfant (0-12 ans et plus), résultats régionaux (2016-2019)

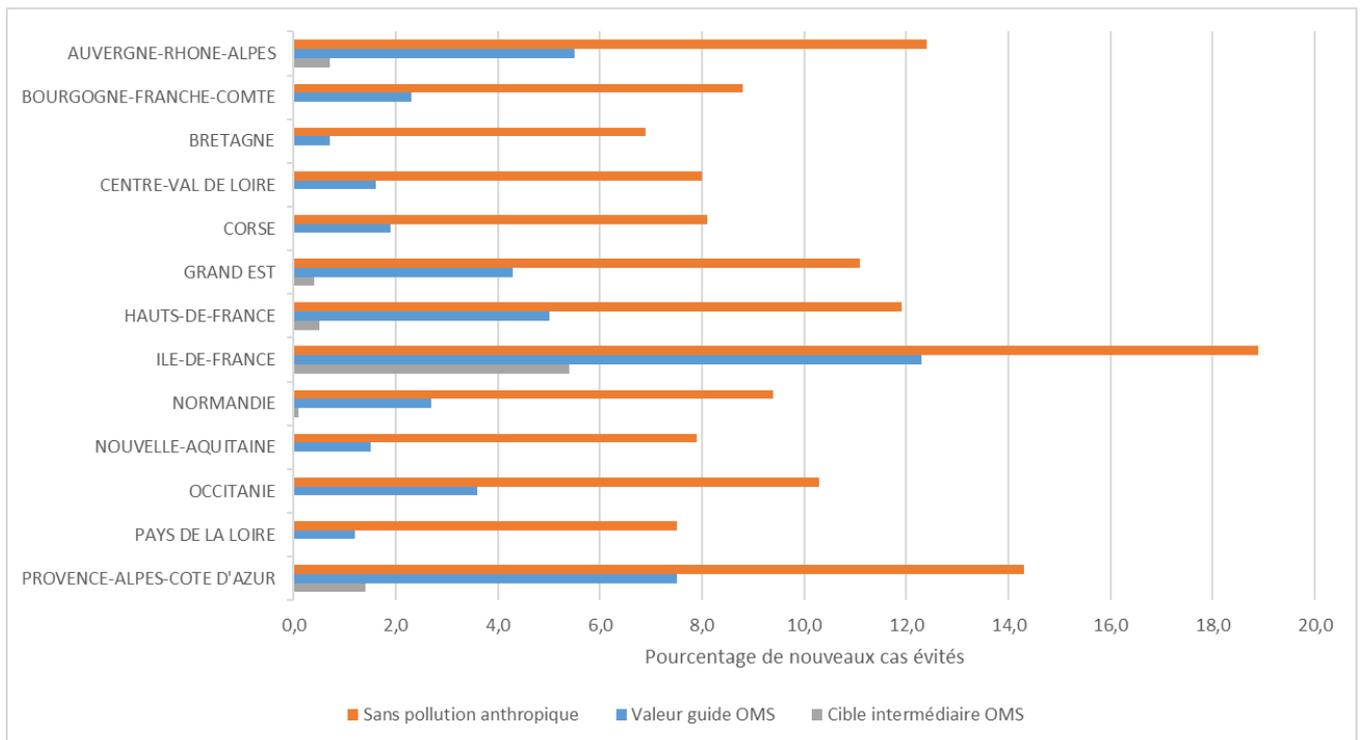
Régions	Scénario Poids total des NO ₂ (1 µg/m ³)		Scénario valeur guide (VG) OMS NO ₂ (10 µg/m ³)			Scénario cible intermédiaire (IT) OMS NO ₂ (20 µg/m ³)		
	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée*	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée*	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des NO ₂ (%)	Nombre de nouveaux cas évités une année donnée	% moyen de nouveaux cas évités une année donnée	Réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario Poids total des NO ₂ (%)
Auvergne-Rhône-Alpes	816 (293 - 1 334)	12,4 (4,5 - 20,3)	364 (128 - 607)	5,5 (2 - 9,2)	44,6	49 (17 - 84)	0,7 (0,3 - 1,3)	6,0
Bourgogne-Franche-Comté	198 (70 - 329)	8,8 (3,1 - 14,7)	51 (18 - 87)	2,3 (0,8 - 3,9)	25,9	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Bretagne	177 (62 - 296)	6,9 (2,4 - 11,6)	19 (7 - 32)	0,7 (0,3 - 1,2)	10,6	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Centre-Val de Loire	173 (61 - 288)	8 (2,8 - 13,3)	34 (12 - 58)	1,6 (0,5 - 2,7)	19,9	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Corse	14 (5 - 23)	8,1 (2,9 - 13,4)	3 (1 - 5)	1,9 (0,7 - 3,2)	23,9	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Grand Est	508 (182 - 835)	11,1 (4 - 18,2)	199 (70 - 333)	4,3 (1,5 - 7,3)	39,1	19 (7 - 33)	0,4 (0,1 - 0,7)	3,8
Hauts-de-France	812 (291 - 1 331)	11,9 (4,3 - 19,6)	342 (120 - 572)	5 (1,8 - 8,4)	42,1	32 (11 - 54)	0,5 (0,2 - 0,8)	3,9
Île-de-France	2 405 (887 - 3 834)	18,9 (7 - 30,1)	1 574 (568 - 2 566)	12,3 (4,5 - 20,1)	65,5	685 (242 - 1 141)	5,4 (1,9 - 8,9)	28,5
Normandie	351 (125 - 581)	9,4 (3,4 - 15,6)	101 (36 - 170)	2,7 (1 - 4,6)	28,8	3 (1 - 5)	0,1 (0 - 0,1)	0,8
Nouvelle-Aquitaine	341 (121 - 568)	7,9 (2,8 - 13,1)	67 (23 - 114)	1,5 (0,5 - 2,6)	19,7	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Occitanie	465 (166 - 767)	10,3 (3,7 - 17)	160 (56 - 269)	3,6 (1,2 - 6)	34,5	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Pays de la Loire	200 (71 - 335)	7,5 (2,7 - 12,6)	32 (11 - 54)	1,2 (0,4 - 2)	15,9	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)	0,0
Provence-Alpes-Côte d'Azur	634 (230 - 1 031)	14,3 (5,2 - 23,2)	332 (118 - 552)	7,5 (2,6 - 12,4)	52,4	63 (22 - 107)	1,4 (0,5 - 2,4)	9,9
France hexagonale	7 094 (2 565 – 11 552)	12,3 (4,5 - 20,1)	3 279 (1 169 – 5 420)	5,7 (2 - 9,4)	46,2****	851 (300 – 1 424)	1,5 (0,5 - 2,5)	12,00

* Estimation centrale et estimations basse et haute correspondant aux limites inférieure et supérieure de l'IC95% du RR.

** Pourcentage de l'estimation centrale.

*** Le poids total du NO₂ sur les nouveaux cas d'ALRI représente 7 094 cas. Si la valeur de 5 µg/m³ de l'OMS était respectée, 46,2% de ces nouveaux cas (soit 3 279 nouveaux cas) seraient évités.

Figure 10 – Pourcentage de cas évités selon les différents scénarios de réduction des niveaux moyens annuels de NO₂ pour ALRI chez l'enfant (0-12 ans et plus), résultats régionaux (2016-2019)



Annexe 5. Résultats de la prise en compte des ISS

5.1. Résultats descriptifs

Données de défavorisation sociale

Les statistiques descriptives de l'indice F-EDI sont présentées ci-dessous en termes de niveaux de PA, d'incidence de trois pathologies (asthme de l'enfant, AVC et cancer du poumon) et selon la typologie des communes (Tableaux 1a, 1b et 1c).

Les niveaux de PM_{2,5} ne varient pas entre les catégories de défavorisation. Pour le NO₂, les niveaux diminuent légèrement dans les quintiles intermédiaires (Tableau 1a).

En moyenne, les communes des 3 classes de densité « rural » apparaissent plus favorisées que les 3 autres classes caractérisant des communes urbaines. Cependant, il existe de fortes disparités intra-classes de densité comme révèlent les percentiles 25 et 75 de la distribution de l'indice de défavorisation (Tableau 1b).

L'incidence de l'asthme chez l'enfant varie légèrement entre les catégories de défavorisation, tandis que l'incidence du cancer du poumon est légèrement plus élevée dans les catégories les plus favorisées, et l'incidence des AVC est la plus élevée dans les catégories les plus défavorisées (Tableau 1c).

Tableau 1a – Concentrations moyennes annuelles pondérées de PM_{2,5} et de NO₂ (µg/m³) par quintiles de l'indice de défavorisation F-EDI, 2016-2019

Quintile de défavorisation	PM _{2,5} (min – max)	NO ₂ (min – max)
Q1 – Communes les plus favorisées	9,7 (7,0 – 13,9)	9,4 (2,1 – 27,0)
Q2	9,5 (6,6 – 14,3)	8,3 (2,0 – 30,6)
Q3	9,4 (6,8 – 14,1)	8 (1,9 – 29,3)
Q4	9,4 (6,6 – 13,9)	8 (1,6 – 34)
Q5 – Communes les plus défavorisées	9,7 (6,6 – 14,4)	9,3 (2,0 – 35,2)

Tableau 1b – Indice F-EDI selon la classe de densité, 2016-2019

Classe de densité	Niveau de l'EDI*				
	Moyenne	Min	Max	Percentile 25	Percentile 75
Rural autonome peu dense à très peu dense	0,62	-16,2	40,0	-1,6	2,6
Rural sous faible influence d'un pôle	-0,43	-12,5	25,6	-2,5	1,5
Rural sous forte influence d'un pôle	-2,1	-12,7	21,2	-4,2	-0,25
Urbain densité intermédiaire	0,95	-10,5	23,9	-2,8	4,1
Urbain dense	5,7	-9,3	31,6	0,87	9,6
Urbain dense au sein d'une métropole	6,4	-6,0	34,0	0,76	10,5
France hexagonale	0,003	-16,2	40,0	-2,6	2,1

*Lecture : plus la valeur du EDI est négative, plus les communes sont favorisées. Inversement, plus la valeur est positive, plus les communes sont défavorisées

Tableau 1c – Taux d'incidence pour 100 000 par quintiles de l'indice de défavorisation F-EDI, 2016-2019

Quintile de défavorisation	Taux d'incidence de l'asthme pour 100 000 enfants (0-17 ans)	Taux d'incidence du cancer du poumon pour 100 000 adultes (35 ans et +)	Taux d'incidence des AVC pour 100 000 adultes (35 ans et +)
Q1 – Communes les plus favorisées	1 426	103,2	203,9
Q2	1 375	94,1	203,4
Q3	1 367	88,6	208,1
Q4	1 411	90,4	221,8
Q5 – Communes les plus défavorisées	1 472	97,3	254,0

5.2. Résultats de l'EQIS selon la classe de défavorisation sociale

5.2.1. PM_{2,5} – cancer du poumon

Le pourcentage de nouveaux cas évités de cancer du poumon une année donnée présente quelques variations entre les classes de défavorisation.

Si la **valeur guide de l'OMS de 5 µg/m³** était respectée en France hexagonale, en moyenne presque 8 nouveaux cas de cancers du poumon pour 100 000 habitants de 35 ans et plus seraient évités pour les communes les plus défavorisées et environ 7 pour 100 000 pour les plus favorisées.

Le taux maximal est obtenu pour les communes urbaines et les métropoles, atteignant 8,7 nouveaux cas pour 100 000 habitants pour les communes les plus défavorisées. Avec ce scénario, plus de 70% des cas d'asthme attribuables au poids total de PM_{2,5} seraient évités, quel que soit le niveau de défavorisation.

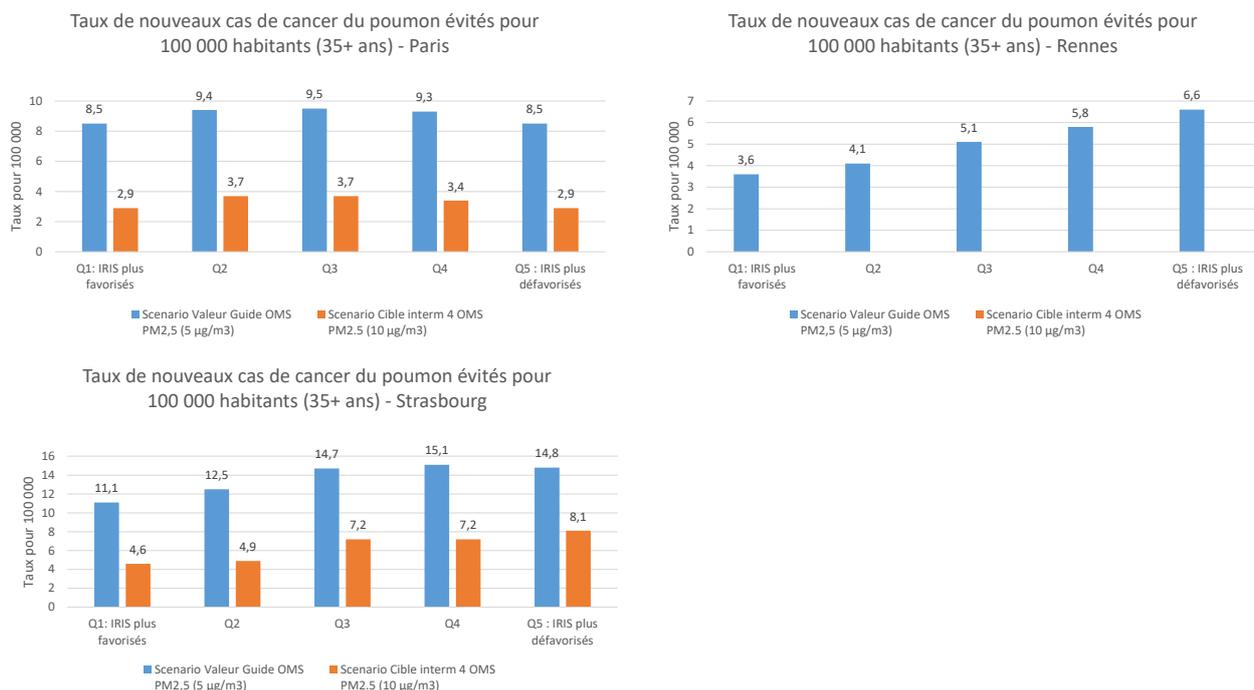
Le taux de nouveaux cas évités de cancer du poumon une année donnée est bien plus faible si la **valeur cible intermédiaire 4 de l'OMS de 10 µg/m³** était respectée. Malgré tout, le même contraste entre les communes favorisées et défavorisées est observé, avec un taux maximum pour les communes les plus défavorisées de 1,3 pour 100 000. La réduction de l'impact sur la santé par rapport au scénario "Poids total des PM_{2,5}" varie entre 11 et 13% pour les communes les plus favorisées et les plus défavorisées, respectivement (Tableau 2, Figure 1).

Tableau 2 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour le cancer du poumon (35 ans et plus) dans les différents scénarios, à partir des taux d'incidence départementaux, France hexagonale (2016-2019) par classe de défavorisation définie selon les quintiles de la distribution de l'indice F-EDI

Indicateur de défavorisation en quintile	Q1 : communes les plus favorisées		Q2		Q3		Q4		Q5 : communes les plus défavorisées	
	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts
Scénario VG OMS : diminution à 5 µg/m³										
Rural autonome peu dense à très peu dense	68,0	6,8	68,0	6,6	67,9	6,5	67,8	6,5	68,6	6,9
Rural sous faible influence d'un pôle	71,4	7,5	70,7	7,1	70,2	6,8	70,2	7,1	70,7	7,4
Rural sous forte influence d'un pôle	71,0	6,9	70,5	6,8	70,5	6,9	70,7	7,2	71,3	7,5
Urbain densité intermédiaire	73,5	7,6	74,1	7,4	72,8	7,5	72,8	7,4	73	7,5
Urbain dense	74,7	7,1	74,7	7,1	74,6	7,4	74,7	7,3	75,7	7,8
Urbain dense au sein d'une métropole	76,0	8,0	75,4	7,8	75,6	8,8	76,3	8,5	77,9	8,7
France hexagonale	70,6	7,2	69,7	7,0	69,3	7,1	69,1	7,2	70,4	7,9
Scénario cible intermédiaire OMS : diminution à 10 µg/m³										
France hexagonale	11,4	0,7	10,6	0,6	10,6	0,6	11,0	0,7	13,1	1,3

* Pour ce scénario les effectifs sont trop faibles pour les présenter par classe de densité redistribués par classe de défavorisation.

Figure 1 – Taux de nouveaux cas de cancer du poumon évités pour 100 000 habitants (35+ ans) par classe de défavorisation définie selon les quintiles de la distribution de l'indice EDI, France hexagonale (2016-2019)



Les **analyses de sensibilité** conduites à l'échelle de l'Iris sur les 3 métropoles que sont Paris, Rennes et Strasbourg révèlent des contrastes un peu plus marqués entre les quintiles de défavorisation. **À Strasbourg**, par exemple, la réduction de l'impact sur la santé du scénario cible intermédiaire de **10 µg/m³** par rapport au scénario « Poids total des PM_{2,5} » est de 34,1% et de 41,2% pour les Iris favorisés et ceux défavorisés, respectivement. Mais ce gradient n'est pas systématique et dépend du territoire. Sur Paris, ce même pourcentage de réduction est légèrement plus élevé pour les Iris les plus favorisés (27%) par rapport à ceux les plus défavorisés (26%), reflétant ainsi la forme de la relation entre défavorisation et pollution de l'air différente entre les territoires français.

S'agissant du **taux d'incidence pour 100 000 habitants** de plus de 35 ans, celui-ci double entre les 2 quintiles extrêmes de la distribution de l'indice de défavorisation pour **Strasbourg** pour le scénarios cible intermédiaire OMS de **10 µg/m³** ; s'agissant du scénario valeur-guide de **5 µg/m³**, cette différence entre les extrêmes de la distribution de l'indice de défavorisation diminue mais demeure visible : 11,1 et 14,8 pour 100 000 habitants pour les extrêmes de la distribution de l'indice de défavorisation à **Strasbourg**, et 3,6 versus 6,6 pour 100 000 habitants pour **Rennes** où le scénario cible intermédiaire de l'OMS ne montre pas de bénéfice visible. Ce taux reste relativement stable entre les quintiles de défavorisation à **Paris**, autour de 8,5 pour 100 000 habitants (voir section 5.3).

5.2.2. PM_{2,5} – Accident vasculaire cérébral

Le pourcentage de nouveaux cas évités d'AVC une année donnée présente quelques variations entre les classes de défavorisation.

Globalement, les bénéfices seraient plus importants dans les communes les plus défavorisées.

Si la **valeur cible intermédiaire de l'OMS de 5 µg/m³** était respectée, en moyenne environ 20 nouveaux cas d'AVC pour 100 000 habitants pour les communes les plus défavorisées et 14 pour celles les plus favorisées seraient évités pour une année donnée. Ces différences entre les communes favorisées et celles défavorisées persistent quelle que soit la classe de densité à laquelle appartiennent ces communes. Un taux de cas évités maximal est obtenu pour les communes urbaines denses et les métropoles, atteignant 22 pour 100 000 habitants dans les communes les plus

défavorisées. Dans ce scénario, ce nombre de cas représente de l'ordre de 70% des cas d'AVC attribuables au poids des PM_{2,5}, quel que soit le niveau de défavorisation.

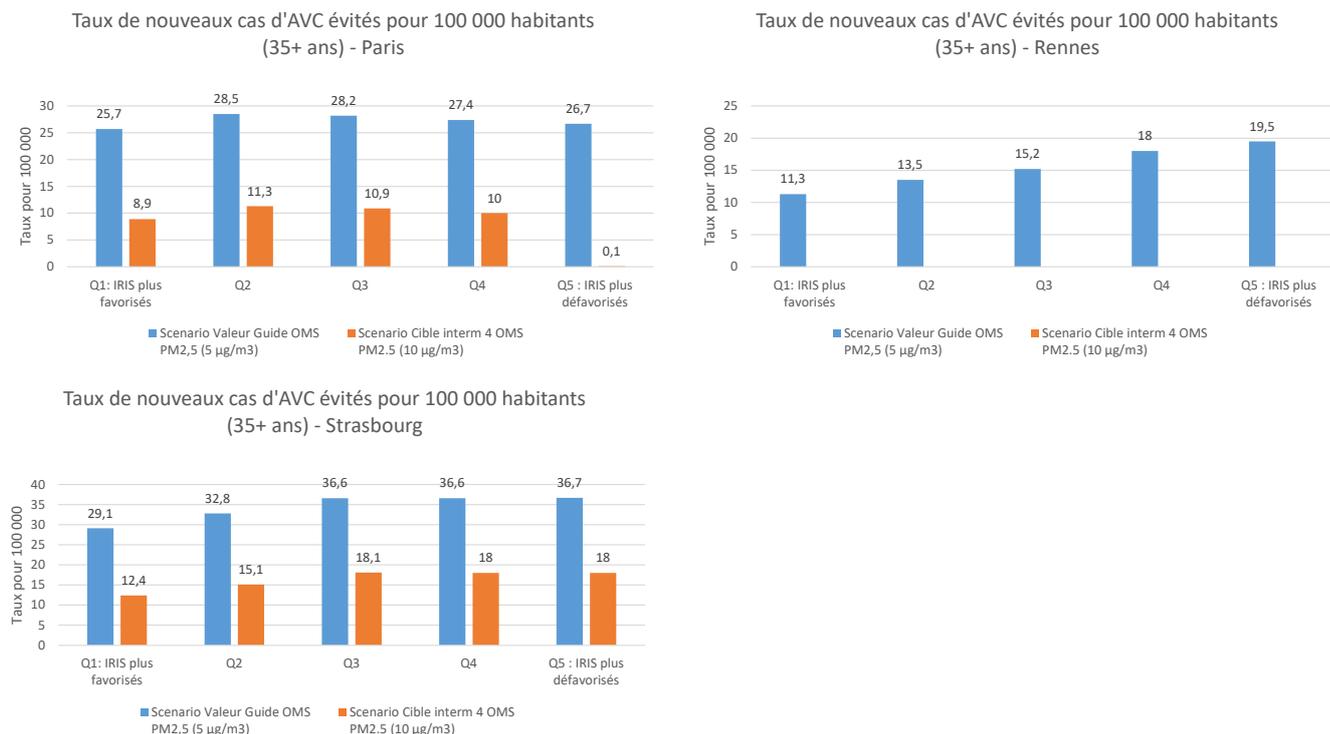
Le pourcentage de nouveaux cas évités d'AVC une année donnée serait bien plus faible si la **valeur cible intermédiaire de l'OMS de 10 µg/m³** était respectée. Un taux de 0,9 cas évité pour 100 000 habitants est atteint pour les communes les plus défavorisées. Ce taux est 2 à 3 fois plus élevé que les taux des communes des autres catégories de défavorisation. Si on se focalise seulement sur les AVC attribuables au poids total des PM_{2,5}, 11,8% et 13,6% des cas seraient évités, respectivement dans ce scénario, pour les communes favorisées vs défavorisées (Tableau 3, Figure 2).

Tableau 3 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour l'AVC (35 ans et plus) dans les différents scénarios, France hexagonale (2016-2019) par classe de défavorisation définie selon les quintiles de la distribution de l'indice F-EDI

Indicateur de défavorisation en quintile	Q1 : communes les plus favorisées		Q2		Q3		Q4		Q5 : communes les plus défavorisées	
	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario Poids total des PM _{2,5}	Taux de cas évités pour 100 000 hbts	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario Poids total des PM _{2,5}	Taux de cas évités pour 100 000 hbts	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario Poids total des PM _{2,5}	Taux de cas évités pour 100 000 hbts	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario Poids total des PM _{2,5}	Taux de cas évités pour 100 000 hbts	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario Poids total des PM _{2,5}	Taux de cas évités pour 100 000 hbts
Scénario VG OMS : diminution à 5 µg/m³										
Rural autonome peu dense à très peu dense	68,1	14,0	68,0	14,7	68,0	15,9	67,8	16,4	68,8	18,3
Rural sous faible influence d'un pôle	71,6	14,1	70,7	14,8	70,0	15,8	70,2	16,8	70,8	18,7
Rural sous forte influence d'un pôle	71,1	12,9	70,4	13,6	70,4	14,9	70,7	15,7	71,3	17,0
Urbain densité intermédiaire	73,4	15,4	73,1	16,2	72,8	17,1	72,8	17,6	73	19,4
Urbain dense	74,8	17,2	74,7	16,4	74,6	17,3	74,8	18,6	75,7	20,7
Urbain dense - métropole	76,0	18,7	75,4	18,9	75,6	23,1	76,3	20,7	77,9	22,2
France hexagonale	70,9	14,2	69,9	15,1	69,4	16,5	69,2	17,4	70,7	20,3
Scénario cible intermédiaire OMS : diminution à 10 µg/m^{3*}										
France hexagonale	11,8	0,3	11	0,29	10,9	0,35	11,4	0,4	13,6	0,9

* Pour ce scénario les effectifs sont trop faibles pour les présentés par classe de densité redistribués par classe de défavorisation.

Figure 2 – Taux de nouveaux cas de cancer du poumon évités pour 100 000 habitants (35 ans et plus) par classe de défavorisation définie selon les quintiles de la distribution de l'indice EDI, France hexagonale (2016-2019)



Les **analyses de sensibilité** conduites à l'échelle de l'Iris sur les 3 métropoles que sont Paris, Rennes et Strasbourg révèlent des contrastes un peu plus marqués entre les quintiles de défavorisation. À **Strasbourg**, par exemple, la réduction de l'impact sur Poids total PM_{2,5} est de 33,8% et de 41,1% pour les Iris favorisés et ceux défavorisés, respectivement. Mais ce gradient n'est pas systématique et dépend du territoire. Sur **Paris**, ce même pourcentage de réduction est légèrement plus faible pour les Iris les plus défavorisés (26,1%) par rapport à ceux les plus favorisés (27,1%), reflétant ainsi la forme de la relation entre défavorisation et pollution de l'air différente entre les territoires français.

S'agissant du **taux d'incidence pour 100 000** habitants de plus de 35 ans (Figure 13), à **Strasbourg**, celui-ci augment régulièrement depuis les Iris les plus favorisés pour atteindre un maximum pour les Iris les plus défavorisés quel que soit le scénario cible. Plus particulièrement, ce taux est de 12,4 versus 18 pour le scénario cible de **10 µg/m³** (iris favorisés versus iris défavorisés) ; ce taux atteint 29,1 et 36,7 pour le scénario cible de **5 µg/m³**. Cette augmentation du taux pour 100 000 habitants avec l'augmentation de la classe de défavorisation est également marquée pour la métropole de Rennes : de 11,3 versus 19,5 pour le scénario cible de **10 µg/m³** (iris favorisés versus iris défavorisés) ; ce taux atteint 17,2 et 27,2 pour le scénario cible de **5 µg/m³**. Ce taux reste relativement stable entre les quintiles extrêmes de défavorisation à Paris, autour de 26 à 27 pour 100 000 pour le scénario cible de **5 µg/m³**, ce taux augmentant même légèrement pour les quintiles Q2 à Q4 (voir section 5.3).

5.2.3. PM_{2,5} – Asthme de l'enfant

Le taux de nouveaux cas d'asthme infantile évités pour 100 000 enfants une année donnée et attribuable aux PM_{2,5} montre une certaine variation entre les catégories de défavorisation.

Si la **valeur guide de l'OMS de 5 µg/m³** était respectée en France hexagonale, en moyenne 227 nouveaux cas d'asthme pour 100 000 enfants de 0-17 ans seraient évités dans les communes les plus défavorisées, et 190 pour 100 000 dans les communes les plus favorisées. Le taux maximal est à nouveau atteint pour les communes urbaines et les métropoles, atteignant 318 nouveaux cas pour 100 000 enfants pour les communes les plus défavorisées. Dans ce scénario, plus de 70% des nouveaux cas attribuables au poids total des PM_{2,5} seraient évités, quel que soit le quantile de défavorisation.

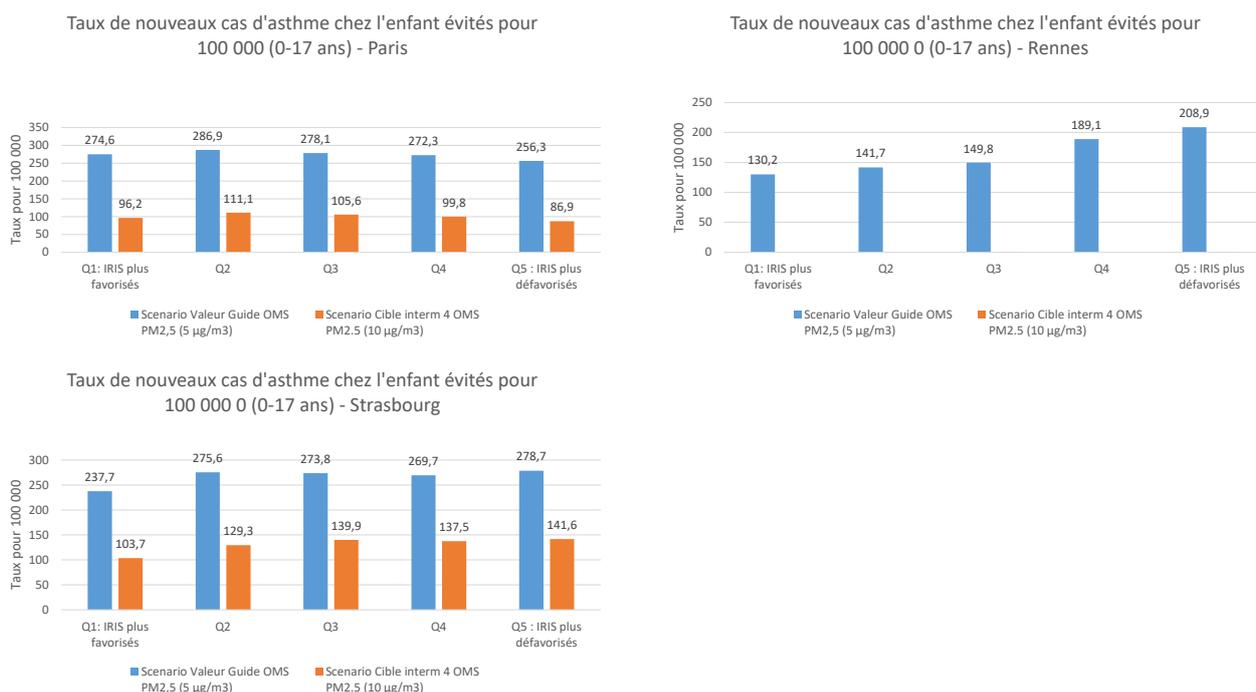
Le taux de nouveaux cas d'asthme évités au cours d'une année donnée est, comme prévu, beaucoup plus faible si la **valeur cible intermédiaire de l'OMS de 10 µg/m³** était respectée. Le taux maximal pour les municipalités les plus défavorisées est de près de 85 pour 100 000 dans les municipalités urbaines et les métropoles. Dans ce scénario, entre 6% (les plus favorisés) et 14% (les plus défavorisés) des nouveaux cas attribuables à la pollution anthropique seraient évités, selon le quantile de défavorisation (Tableau 4, Figure 3).

Tableau 4 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} pour l’asthme chez l’enfant dans les différents scénarios, France hexagonale (2016-2019) par classe de défavorisation définie selon les quintiles de la distribution de l’indice F-EDI

Indicateur de défavorisation en quintile	Q1 : communes les plus favorisées		Q2		Q3		Q4		Q5 : communes les plus défavorisées	
	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts
Scénario VG OMS : diminution à 5 µg/m³										
Rural autonome peu dense à très peu dense	70,5	148,2	69,1	201,1	69,1	194,4	68,9	196,3	70,0	214,1
Rural sous faible influence d'un pôle	73,4	175,7	71,8	214,6	71,3	215,3	71,3	224,8	72,1	236,3
Rural sous forte influence d'un pôle	72	185,2	71,5	228,7	71,5	238,1	71,8	250,3	72,6	251,9
Urbain densité intermédiaire	74,2	211,1	74,1	248,9	73,8	255,3	73,8	260,8	73,8	261,3
Urbain dense	75,3	157,6	75,7	248,4	75,6	268,6	75,8	272,2	76,8	268,8
Urbain dense au sein d'une métropole	76,3	260,1	76,5	298,1	76,7	319,4	77,4	321,7	79,0	318
France hexagonale	73	190,1	72,5	179,2	72,8	180,4	73,4	191,5	76,2	227,2
Scénario cible intermédiaire OMS : diminution à 10 µg/m³										
France hexagonale	6,3	16,5	5,4	13,4	6,4	15,9	7,6	19,8	14,2	42,4

* Pour ce scénario les effectifs sont trop faibles pour les présentés par classe de densité redistribués par classe de défavorisation.

Figure 3 – Taux de nouveaux cas d'asthme de l'enfant (0-17 ans) évités pour 100 000 enfants par classe de défavorisation définie selon les quintiles de la distribution de l'indice EDI, France hexagonale (2016-2019)



Les analyses de sensibilité conduites à l'échelle de l'Iris sur les trois métropoles que sont Paris, Rennes et Strasbourg révèlent des contrastes un peu plus marqués entre les quintiles de défavorisation. À **Strasbourg**, la réduction de l'impact sur la santé du scénario cible de **10 µg/m³** par rapport au scénario Poids total des PM_{2,5} est de 36,3% et de 43,1% pour les Iris favorisés et ceux défavorisés, respectivement. Mais ce gradient n'est pas systématique et dépend du territoire. Sur **Paris**, ce même pourcentage de réduction est relativement stable entre les quintiles de défavorisation, reflétant de nouveau que la forme de la relation entre défavorisation et pollution de l'air diffère entre les territoires français.

S'agissant du **taux d'incidence pour 100 000 enfants** de plus de 35 ans, à **Strasbourg**, celui-ci augmente régulièrement depuis les Iris les plus favorisés pour atteindre un maximum pour les Iris les plus défavorisés, quel que soit le scénario cible. Plus particulièrement, ce taux est de 103,7 versus 141,6 pour 100 000 pour le scénario cible intermédiaire de **10 µg/m³** (Iris favorisés versus Iris défavorisés) ; ce taux atteint 278,7 pour 100 000 pour le scénario valeur-guide OMS de **5 µg/m³** pour les Iris les plus défavorisés. Cette augmentation du taux pour 100 000 enfants avec l'augmentation de la classe de défavorisation est similaire entre les quintiles de défavorisation de la métropole de **Rennes** : de 130,2 à 208,9 pour le scénario valeur-guide OMS de **5 µg/m³** (Iris favorisés versus Iris défavorisés). Ce taux reste relativement stable entre les quintiles de défavorisation à **Paris** ; ce taux augmentant même légèrement pour les quintiles Q2 à Q4 (voir section 5.3).

5.2.4. NO₂ – Asthme de l'enfant

Le taux de nouveaux cas d'asthme infantile évités pour 100 000 enfants une année donnée et attribuable au NO₂ varie plus visiblement entre les catégories de défavorisation.

En respectant la valeur de **10 µg/m³** de l'OMS pour le NO₂, on éviterait en moyenne 107 nouveaux cas d'asthme pour 100 000 enfants dans les municipalités les plus défavorisées, et seulement 29 pour 100 000 dans les plus favorisées. Le taux maximum est à nouveau atteint pour les municipalités urbaines et les métropoles, reflétant la plus grande densité de population ainsi qu'un niveau plus élevé de concentrations annuelles de NO₂ et atteignant plus de 200 nouveaux cas pour 100 000 pour les municipalités les plus défavorisées. Dans ce scénario, entre 21,7% (dans le quantile le plus favorisé) et 49,6% (dans la catégorie la plus défavorisée) des nouveaux cas d'asthme attribuables au poids total du NO₂ seraient évités.

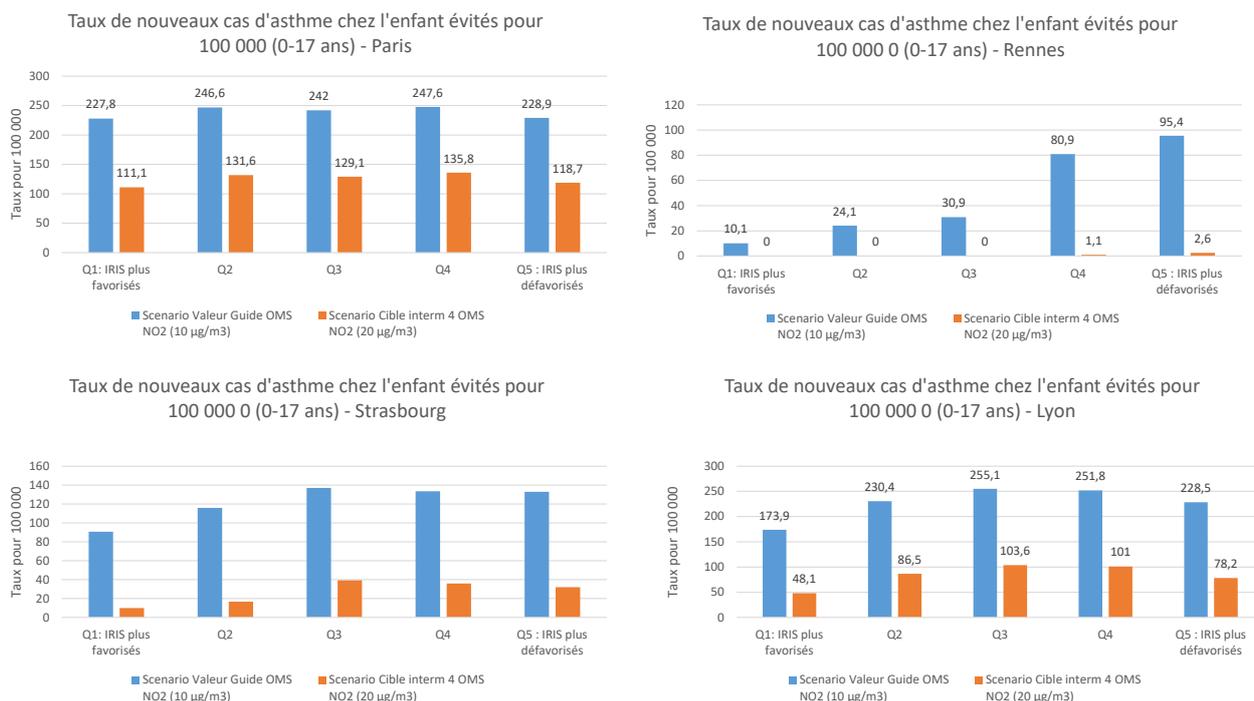
Le taux de nouveaux cas d'asthme évités une année donnée est, comme prévu, beaucoup plus faible si la valeur cible intermédiaire de l'OMS de **20 µg/m³** était respectée. Dans ce scénario, 12% des nouveaux cas d'asthme attribuables au poids total du NO₂ seraient évités dans la catégorie la plus défavorisée, ce pourcentage tombant à 0,5% dans la catégorie la plus favorisée (Tableau 5, Figure 4).

Tableau 5 – Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de NO₂ pour l’asthme chez l’enfant dans les différents scénarios, France hexagonale (2016-2019) par classe de défavorisation définie selon les quintiles de la distribution de l’indice F-EDI

Indicateur de défavorisation en quintile	Q1 : communes les plus favorisées		Q2		Q3		Q4		Q5 : communes les plus défavorisées	
	Réduction de l’impact sur la santé rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts	Réduction de l’impact sur la santé rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts	Réduction de l’impact sur la santé rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts	Réduction de l’impact sur la santé rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts	Réduction de l’impact sur la santé rapport au scénario Poids total des PM _{2,5} (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts
Scénario VG OMS : diminution à 10 µg/m³										
Rural autonome peu dense à très peu dense	6,0	5,1	4,9	4,0	4,2	3,1	2,9	2,1	5,0	4,2
Rural sous faible influence d’un pôle	13,1	14,1	8,8	8,0	8,0	7,2	9,8	9,4	9,3	9,4
Rural sous forte influence d’un pôle	29,6	13,4	9,6	10,3	11,1	12,6	12,0	14,8	11,2	13,4
Urbain densité intermédiaire	31,3	53,3	27,7	43,1	28,3	45,3	30,0	49,5	32,1	54,1
Urbain dense	53,9	93,6	58,1	138,4	51,5	117	53,0	125,5	51,7	114,9
Urbain dense au sein d’une métropole	48,3	119,9	44,4	103,9	55,4	150,2	58,4	169,5	63,2	196,5
France hexagonale	21,7	29,1	21,7	28,8	25,2	31,8	33,2	49,0	49,6	107,4
Scénario cible intermédiaire OMS : diminution à 20 µg/m³*										
France hexagonale	0,5	0,7	1,4	1,7	2,8	3,5	5,5	8,1	11,9	25,8

* Pour ce scénario les effectifs sont trop faibles pour les présentés par classe de densité redistribués par classe de défavorisation.

Figure 4 – Taux de nouveaux cas d'asthme de l'enfant (0-17 ans) évités pour 100 000 enfants par classe de défavorisation définie selon les quintiles de la distribution de l'indice F-EDI, France hexagonale (2016-2019)



Les analyses de sensibilité conduites à l'échelle de l'Iris sur les 4 métropoles de Paris, Rennes, Strasbourg et Lyon peuvent être un peu plus marquées entre les quintiles de défavorisation.

À **Strasbourg**, la réduction de l'impact sur la santé du scénario cible de **20 µg/m³** par rapport au scénario Poids total du NO₂ augmente de 5,8% à 14,8% pour les Iris favorisés et ceux défavorisés, respectivement. Mais encore une fois, ce gradient n'est pas systématique et dépend du territoire. Sur **Paris**, ce même pourcentage de réduction augmente de 38,5% à 39,9% pour les quintiles Q2, Q3 et Q4 et diminue pour les quintiles extrêmes de la distribution de l'indice de défavorisation (34,2% vs 37,2%). Le gradient entre les quintiles de défavorisation est très marqué à **Rennes** s'agissant de la réduction de l'impact sur la santé du scénario valeur-guide OMS de **10 µg/m³** par rapport au scénario Poids total du NO₂ : 10,4% versus 43,1% pour les Iris les plus favorisés versus ceux défavorisés.

En ce qui concernant le **taux d'incidence pour 100 000 enfants** de 0-17 ans pour le scénario cible de **20 µg/m³**, le taux est maximum à **Lyon** pour les quintiles Q2 : 230 ; Q3 : 255 ; et Q4 : 252) de la distribution de l'indice de défavorisation ; reflétant la forme connue en « cloche » à Lyon de la relation entre défavorisation et NO₂ à l'échelle de l'Iris. Cette forme est retrouvée à Strasbourg et à Paris, avec des effectifs plus faibles. Toujours à **Strasbourg**, ce taux atteint environ 137 pour 100 000 pour le scénario cible de **10 µg/m³** pour les Iris du quintile 3 et décroît ensuite pour les quintiles 4 et 5, les plus défavorisés. À **Rennes**, le taux pour 100 000 enfants, augmente régulièrement des Iris les plus favorisés (un minimum de 10,1) vers les Iris les plus favorisés (un maximum de 95,4) (voir section 5.3).

5.3. Analyse de sensibilité sur la défavorisation sociale à l'échelle de l'Iris dans quatre métropoles

Métropole du Grand Paris

Tableau 6 - Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} (données 2017-2019) pour le cancer du poumon par quintile de privation dans les communes de l'Iris de la métropole du Grand Paris

Scénarios	Q1 : Iris les plus favorisés		Q2		Q3		Q4		Q5 : Iris les plus défavorisés	
	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)
Scénario cible intermédiaire OMS diminution PM _{2,5} à 10 µg/m ³	27,1	2,9	31,5	3,7	30,5	3,7	28,7	3,4	26,1	2,9
Scénario VG OMS : diminution PM _{2,5} à 5 µg/m ³	80,0	8,5	81,2	9,4	80,8	9,5	80,4	9,3	79,7	8,5
Scénario sans PM _{2,5} d'origine anthropique (diminution à 3 µg/m ³)		10,6		11,6		11,7		11,6		10,7

Tableau 7 - Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} (données 2017-2019) pour AVC par quintile de privation dans les communes de l'Iris de la métropole du Grand Paris

Scénarios	Q1 : Iris les plus favorisés		Q2		Q3		Q4		Q5 : Iris les plus défavorisés	
	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)
Scénario cible intermédiaire OMS diminution PM _{2,5} à 10 µg/m ³	27,1	8,9	31,5	11,3	30,5	10,9	28,7	10,0	26,1	0,1
Scénario VG OMS : diminution PM _{2,5} à 5 µg/m ³	79,9	25,7	81,1	28,5	80,8	28,2	80,4	27,4	79,7	26,7
Scénario sans PM _{2,5} d'origine anthropique (diminution à 3 µg/m ³)		32,0		35,1		34,7		33,9		33,3

Tableau 8 - Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} (données 2017-2019) pour l'asthme chez l'enfant (0-17 ans) par quintile de privation dans les communes de l'Iris de la métropole du Grand Paris

Scénarios	Q1 : Iris les plus favorisés		Q2		Q3		Q4		Q5 : Iris les plus défavorisés	
	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)
Scénario cible intermédiaire OMS : diminution PM _{2,5} à 10 µg/m ³	28,5	118,7	33,1	138,4	32,9	131,8	30,1	124,5	27,4	108,9
Scénario VG OMS : diminution PM _{2,5} à 5 µg/m ³	81,0	337,5	82,3	356,1	81,9	346,4	81,5	368,9	80,8	320,5
Scénario sans PM _{2,5} d'origine anthropique (diminution à 3 µg/m ³)		416,4		434,7		423,8		416,5		396,8

Tableau 9 - Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de NO₂ (données 2017-2019) pour l'asthme chez l'enfant (0-17 ans) par quintile de privation dans les communes de l'Iris de la métropole du Grand Paris

Scénarios	Q1 : Iris les plus favorisés		Q2		Q3		Q4		Q5 : Iris les plus défavorisés	
	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)
Scénario cible intermédiaire OMS : diminution NO ₂ à 20 µg/m ³	33,5	137,1	39,4	163,8	39,1	163,8	39,4	169,0	36	148,7
Scénario VG OMS : diminution NO ₂ à 10 µg/m ³	69,8	280,3	72,6	306,4	72,5	301,5	72,6	308,2	71,1	286,3
Scénario sans NO ₂ d'origine anthropique (diminution à 1 µg/m ³)		399,1		424,0		417,1		422,7		399,5

Métropole de Lyon

Pour la métropole de Lyon les données n'étaient disponibles que pour le NO₂

Tableau 10 - Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de NO₂ (données 2017-2019) pour l'asthme chez l'enfant (0-17 ans) par quintile de privation dans les communes de l'Iris de la métropole de Lyon

Scénarios	Q1 : Iris les plus favorisés		Q2		Q3		Q4		Q5 : Iris les plus défavorisés	
	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)
Scénario cible intermédiaire OMS : diminution NO ₂ à 20 µg/m ³	14,0	57,9	22,4	104,0	26,8	125,1	25,4	124,5	20,2	98,2
Scénario Vg OMS : diminution NO ₂ à 10 µg/m ³	56,8	209,5	63,4	278,4	66,6	309,8	65,7	311,5	63,2	286,6
Scénario sans NO ₂ d'origine anthropique (diminution à 1 µg/m ³)		356,6		430,5		465,5		468,5		444,9

Métropole de Rennes

Tableau 11 - Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} (données 2017-2019) pour le cancer du poumon par quintile de privation dans les communes de l'Iris de la métropole de Rennes

Scénarios	Q1 : Iris les plus favorisés		Q2		Q3		Q4		Q5 : Iris les plus défavorisés	
	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)
Scénario cible intermédiaire OMS : diminution PM _{2,5} à 10 µg/m ³	0	0	0	0	0,12	0	0	0	0,11	0
Scénario VG OMS : diminution PM _{2,5} à 5 µg/m ³	66,4	3,6	66,1	4,1	68,4	5,1	69,7	5,8	70,9	6,6
Scénario sans PM _{2,5} d'origine anthropique (diminution à 3 µg/m ³)		5,5		6,1		7,2		8,3		9,3

Tableau 12 - Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} (données 2017-2019) pour AVC par quintile de privation dans les communes de l'Iris de la métropole de Rennes

Scénarios	Q1 : Iris les plus favorisés		Q2		Q3		Q4		Q5 : Iris les plus défavorisés	
	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)
Scénario cible intermédiaire OMS : diminution PM _{2,5} à 10 µg/m ³	0	0	0	0	0,12	0	0	0	0,11	0,1
Scénario VG OMS : diminution PM _{2,5} à 5 µg/m ³	66,4	3,6	66,1	4,1	68,4	5,1	69,7	5,8	70,9	26,7
Scénario sans PM _{2,5} d'origine anthropique (diminution à 3 µg/m ³)		5,5		6,1		7,2		8,3		33,3

Tableau 13 - Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} (données 2017-2019) pour l'asthme chez l'enfant (0-17 ans) par quintile de privation dans les communes de l'Iris de la métropole de Rennes

Scénarios	Q1 : Iris les plus favorisés		Q2		Q3		Q4		Q5 : Iris les plus défavorisés	
	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)
Scénario cible intermédiaire OMS : diminution PM _{2,5} à 10 µg/m ³	0	0	0	0	0,12	0,34	0	0	0,12	0,5
Scénario VG OMS : diminution PM _{2,5} à 5 µg/m ³	66,6	156,9	66,6	175,3	69,0	189,3	70,6	235,3	71,9	259,8
Scénario sans PM _{2,5} d'origine anthropique (diminution à 3 µg/m ³)		234,6		262,4		275,0		334,3		360,6

Tableau 14 - Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de NO₂ (données 2017-2019) pour l'asthme chez l'enfant (0-17 ans) par quintile de privation dans les communes de l'Iris de la métropole de Rennes

Scénarios	Q1 : Iris les plus favorisés		Q2		Q3		Q4		Q5 : Iris les plus défavorisés	
	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)
Scénario cible intermédiaire OMS : diminution NO ₂ à 20 µg/m ³	0	0	0	0	0	0	0,5	1,3	0,9	3,2
Scénario VG OMS : diminution NO ₂ à 10 µg/m ³	7,3	11,9	17,2	29,8	21,2	38,9	39,5	100,7	40,9	119,1
Scénario sans NO ₂ d'origine anthropique (diminution à 1 µg/m ³)		116,8		148,7		158,8		251,3		276,0

T Métropole de Strasbourg

Tableau 15 - Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} (données 2017-2019) pour le cancer du poumon par quintile de privation dans les communes de l'Iris de la métropole de Strasbourg

Scénarios	Q1 : Iris les plus favorisés		Q2		Q3		Q4		Q5 : Iris les plus défavorisés	
	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)
Scénario cible intermédiaire OMS : diminution PM _{2,5} à 10 µg/m ³	34,1	4,6	38,5	4,9	41,7	7,2	41,4	7,2	41,2	8,1
Scénario VG OMS : diminution PM _{2,5} à 5 µg/m ³	81,8	11,1	83,5	12,5	84,4	14,7	84	15,1	83,8	14,8
Scénario sans PM _{2,5} d'origine anthropique (diminution à 3 µg/m ³)		13,5		14,9		17,4		18		17,6

Tableau 16 - Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} (données 2017-2019) pour AVC par quintile de privation dans les communes de l'Iris de la métropole de Strasbourg

Scénarios	Q1 : Iris les plus favorisés		Q2		Q3		Q4		Q5 : Iris les plus défavorisés	
	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (35+ ans)
Scénario cible intermédiaire OMS : diminution PM _{2,5} à 10 µg/m ³	33,8	12,4	38,6	15,1	41,7	18,1	41,6	18	41,1	18
Scénario VG OMS : diminution PM _{2,5} à 5 µg/m ³	81,8	29,1	83,1	32,8	84	36,6	83,9	36,6	83,8	36,7
Scénario sans PM _{2,5} d'origine anthropique (diminution à 3 µg/m ³)		35,6		39,5		43,5		43,6		43,7

Tableau 17 - Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} (données 2017-2019) pour l'asthme chez l'enfant (0-17 ans) par quintile de privation dans les communes de l'Iris de la métropole de Strasbourg

Scénarios	Q1 : Iris les plus favorisés		Q2		Q3		Q4		Q5 : Iris les plus défavorisés	
	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)
Scénario cible intermédiaire OMS : diminution PM _{2,5} à 10 µg/m ³	35,4	140,1	40,4	167,2	43,7	182,4	43,6	182,8	43,1	186,1
Scénario VG OMS : diminution PM _{2,5} à 5 µg/m ³	82,9	322,5	84,2	355,8	85,1	357,7	85	358,9	84,9	366,3
Scénario sans PM _{2,5} d'origine anthropique (diminution à 3 µg/m ³)		388,5		424,2		420,4		422,4		431,2

Tableau 18 - Bénéfices potentiels de la réduction des niveaux moyens annuels de NO₂ (données 2017-2019) pour l'asthme chez l'enfant (0-17 ans) par quintile de privation dans les communes de l'Iris de la métropole de Strasbourg

Scénarios	Q1 : Iris les plus favorisés		Q2		Q3		Q4		Q5 : Iris les plus défavorisés	
	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)	Réduction de l'impact sur la santé rapport au scénario sans PA anthropique (%)	Taux de cas évités pour 100 000 hbts (0-17 ans)
Scénario cible intermédiaire OMS : diminution NO ₂ à 20 µg/m ³	14,1	13	14,3	21,9	19,1	51,2	17,2	47,5	15,3	41,6
Scénario VG OMS : diminution NO ₂ à 10 µg/m ³	50,5	122,1	57,2	149,9	62,6	179,2	62,4	177,1	61	174,5
Scénario sans NO ₂ d'origine anthropique (diminution à 1 µg/m ³)		233,8		265		284,8		284		284,5

Pour en savoir plus :

Programme de surveillance (Psas)

[Air : Pollution atmosphérique – Santé publique France \(santepubliquefrance.fr\)](http://santepubliquefrance.fr)

Projet EMAPEC

<https://www.who.int/fr/activities/estimating-the-morbidity-from-air-pollution-and-its-economic-costs>