



**HAL**  
open science

## Changes in the impact of atmospheric pollution on mortality between 2009 and 2019 within the area covered by the Toulouse Atmosphere Protection Plan

Patrice Poinat, Sandrine Cheniki, Cyrille Delpierre, Inca Ruiz, Magali Corso, Olivier Chanel, Sylvie Cassadou

### ► To cite this version:

Patrice Poinat, Sandrine Cheniki, Cyrille Delpierre, Inca Ruiz, Magali Corso, et al.. Changes in the impact of atmospheric pollution on mortality between 2009 and 2019 within the area covered by the Toulouse Atmosphere Protection Plan. *Environnement, Risques & Santé*, 2024, 23 (4), pp.190 - 198. 10.1684/ers.2024.1817 . halshs-04856346

**HAL Id: halshs-04856346**

**<https://shs.hal.science/halshs-04856346v1>**

Submitted on 6 Jan 2025

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

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

# Évolution des impacts de la pollution atmosphérique sur la mortalité observée entre 2009 et 2019 sur le territoire du plan de protection de l'atmosphère de Toulouse

Patrice Poinat <sup>1</sup>, Sandrine Cheniki <sup>2</sup>, Cyrille Delpierre <sup>3</sup>, Inca Ruiz <sup>4</sup>, Magali Corso <sup>5</sup>, Olivier Chanel <sup>6</sup>, Sylvie Cassadou <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Creai-ORS Occitanie, Site de Toulouse, 37 allées Jules Guesde, 31000 Toulouse

[p.poinat@creaiors-occitanie.fr](mailto:p.poinat@creaiors-occitanie.fr), [s.cassadou@creaiors-occitanie.fr](mailto:s.cassadou@creaiors-occitanie.fr)

<sup>2</sup> ATMO Occitanie, Bureau de Toulouse, 10bis chemin des Capelles, 31300 Toulouse

[sandrine.cheniki@atmo-occitanie.org](mailto:sandrine.cheniki@atmo-occitanie.org)

<sup>3</sup> Equipe EQUITY, Centre d'Epidémiologie et de Recherche en santé des POPulations CERPOP –

UMR1295, Inserm-Université Toulouse III Paul Sabatier, Toulouse, France

[cyrille.delpierre@inserm.fr](mailto:cyrille.delpierre@inserm.fr)

<sup>4</sup> Creai-ORS Occitanie, Site de Montpellier, 135 Allée Sacha Guitry, BP 35567, 34072 Montpellier

cedex 03 [i.ruiz@creaiors-occitanie.fr](mailto:i.ruiz@creaiors-occitanie.fr)

<sup>5</sup> Santé publique France, 12 rue du Val d'Osne, 94415 Saint-Maurice Cedex France

[magali.corso@santepubliquefrance.fr](mailto:magali.corso@santepubliquefrance.fr)

<sup>6</sup> Aix Marseille Univ, CNRS, AMSE, 5 boulevard Maurice Bourdet CS50498, 13205 Marseille Cedex 01 France [olivier.chanel@univ-amu.fr](mailto:olivier.chanel@univ-amu.fr)

*Une version plus récente de cet article est parue sous la référence suivante :*

*Poinat, P., Cheniki, S., Delpierre, C., Ruiz, I., Corso, M., Chanel, O., & Cassadou, S. (2024). Évolution des impacts de la pollution atmosphérique sur la mortalité entre 2009 et 2019 dans le territoire du plan de protection de l'atmosphère de Toulouse. **Environnement, Risques & Santé**, 23(4), 190-198.*

## Résumé

La pollution atmosphérique (PA) est encore aujourd'hui responsable de 40 000 décès annuels en France. L'objectif principal de ce travail était de caractériser l'évolution de la PA urbaine et de son impact sur la mortalité en comparant les périodes d'exposition 2008-2010 et 2017-2019 sur la zone de Toulouse ; il s'agissait aussi d'évaluer les gains sanitaires potentiels si les concentrations des polluants traceurs considérés respectaient les nouvelles valeurs guides OMS 2021 sur la période 2017-2019. La répartition de cet impact sanitaire selon la défavorisation sociale et une exploration des impacts économiques associés ont aussi été estimées. Plusieurs études quantitatives d'impact sanitaires (EQIS) ont ainsi été réalisées grâce à la modélisation de l'exposition des populations aux PM<sub>2.5</sub> et au NO<sub>2</sub> sur le territoire du plan de protection de l'atmosphère de Toulouse (PPA). Le *French European Deprivation Index* a été utilisé comme indicateur de défavorisation sociale à fine échelle et les impacts économiques ont été estimés par l'attribution d'une valeur monétaire à l'évitement d'un décès. Sur l'ensemble de la zone du PPA, les moyennes de concentration passent de 17.2 µg/m<sup>3</sup> à 10.3 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2.5</sub> et de 21.7 µg/m<sup>3</sup> à 18.1 µg/m<sup>3</sup> pour le NO<sub>2</sub>, entre 2009 et 2019. La proportion de

mortalité toutes causes attribuable à la PA [IC 95%] passe de ce fait de 15.8 % [5.8 ; 23.8] à 7.3% [2.6 ; 11.5] pour les PM2.5 entre 2009 et 2019 ; elle évolue de 2.7 % [0.9 ; 4.3] à 1.9 % [0.7 ; 3.0] pour le NO<sub>2</sub> sur la même période. Malgré cette amélioration, les concentrations en polluants traceurs restent au-dessus des valeurs guides OMS 2021 et 440 décès attribuables à la surexposition aux PM2.5 auraient encore pu être évités chaque année si ces valeurs avaient déjà été atteintes en 2019. Concernant la répartition de l'impact sur la santé dans la population, un gradient d'exposition à la PA faible mais croissant est observé du quintile de population le moins défavorisé au quintile plus défavorisé. Il conduit à un gradient croissant de mortalité attribuable encore plus important entre ces quintiles, qui s'amplifie entre 2009 et 2019. L'évaluation des impacts économiques annuels qui auraient pu être observés si les valeurs guides OMS 2021 avaient déjà été respectées, sont de 2 772 millions d'euros<sub>2018</sub> en 2009 et 1 423 millions d'euros<sub>2018</sub> en 2019.

**Mots clés :** PA, impact sanitaire, mortalité, défavorisation sociale, coût médico-économique

## Abstract

To this day, air pollution (PA) is still accountable for 40 000 deaths in France. The main objective of this study was to characterize the evolution of urban PA and its impact on mortality by comparing 2008-2010 versus 2017-2019 air pollution exposure periods in the Toulouse area. We also aimed to assess the putative reachable health gains, if the concentrations of tracer pollutants were already at the level of the new WHO 2021 guidelines during the 2017-2019 period. The distribution of this health impact according to social deprivation and an exploration of the associated economic impacts were also estimated. Several Quantitative Impact Health Studies (EQIS) were conducted thanks to the modeling of population exposure to PM2.5 and NO<sub>2</sub> in the Toulouse air protection plan territory. The French European Deprivation Index was used as a fine-scale indicator of social deprivation, and economic impacts were estimated by assigning a monetary value to the prevention of one death linked to air pollution. Across the considered territory, mean concentration averages decrease from 17.2 µg/m<sup>3</sup> to 10.3 µg/m<sup>3</sup> for PM2.5, and from 21.7 µg/m<sup>3</sup> to 18.1 µg/m<sup>3</sup> for NO<sub>2</sub> between 2009 and 2019. The proportion of all-cause mortality attributable to air pollution [95% CI] goes thus from 15.8% [5.8; 23.8] to 7.3% [2.6; 11.5] for PM2.5 between 2009 and 2019; it decreases from 2.7% [0.9; 4.3] to 1.9% [0.7; 3.0] for NO<sub>2</sub> over the same period. Despite this improvement, concentrations of tracer pollutants remain above WHO 2021 guidelines, and there are still 440 annual deaths attributable to this overexposure to PM2.5 that could be avoided if these values had already been reached in 2019. Regarding social deprivation, a low but increasing gradient of exposure to air pollution is observed between the least and most deprived population quintiles. This leads to an even greater mortality gradient attributable to air pollution between these same quintiles, with a worsening of these observations between 2009 and 2019. Regarding the economic impacts, the average expected valuation associated with an early meeting of WHO 2021 guidelines would have been of €2,772 millions<sub>2018</sub> in 2009 and still of €1,423 millions<sub>2018</sub> in 2019 in the considered territory.

**Key words:** air pollution, health impact assessment, mortality, social deprivation, cost-benefit analysis

## Contexte

Il est aujourd'hui démontré que la grande majorité de la pollution atmosphérique (PA) est d'origine anthropique et que celle-ci a des effets délétères sur la santé humaine (1). A la fin des années 1990, Santé publique France, alors « Institut de Veille Sanitaire », a estimé les premières relations à court terme entre concentrations de polluants atmosphériques dits « traceurs » et certains événements sanitaires tels que les décès et les admissions hospitalières (2). Ces fonctions concentrations / risque (FCR) ont progressivement été affinées dans plusieurs études internationales et ont peu à peu permis d'estimer l'impact sanitaire de l'exposition des populations à la PA urbaine, d'abord à court terme, puis à long terme. Les méthodes et outils *ad hoc* ont été développés et diffusés, en collaboration avec l'Organisation mondiale de la santé (OMS), afin que des évaluations quantitatives des impacts sur la santé (EQIS) de la pollution de l'air ambiant soient réalisables, d'abord localement dans les zones

urbaines, puis à l'échelle du territoire national (3). Ces EQIS ont l'intérêt de montrer dans quelles proportions l'incidence de certaines maladies est augmentée par la PA. Elles permettent aussi d'estimer les gains sanitaires, rétrospectifs ou prospectifs, potentiellement associés à la mise en place de mesures visant à réduire les niveaux de pollution. Enfin, elles permettent d'estimer la réduction des niveaux de pollution nécessaire à l'atteinte d'objectifs de santé, que ce soit sur la mortalité ou sur l'incidence des maladies. Les EQIS font aujourd'hui partie des outils scientifiquement validés et utilisés lors de la création ou de la révision de plans ou directives visant à réduire la PA d'origine anthropique et ses conséquences pour la santé. Un des outils de planification développés localement à cet égard est le plan de protection de l'atmosphère (PPA) réglementairement obligatoire pour les agglomérations françaises de plus de 250 000 habitants.

Dans le cadre de la révision du 2<sup>ème</sup> PPA de Toulouse, le CREAL-ORS Occitanie, en partenariat avec ATMO Occitanie, a ainsi réalisé plusieurs EQIS dont les résultats devraient éclairer les pouvoirs publics au regard des actions qui seront développées ou nouvellement proposées dans le 3<sup>ème</sup> PPA de la région toulousaine.

### Objectifs de l'étude

L'objectif de ce travail est d'estimer la mortalité à long terme attribuable à la pollution de l'air ambiant sur la zone du PPA révisé en 2016, au moyen de deux approches.

**L'approche « chemin parcouru »**, qui s'intéresse au gain sanitaire potentiellement associé à l'amélioration de la qualité de l'air observée au cours de la décennie 2009-2019. Cette approche est dite rétrospective.

**L'approche « chemin à parcourir »**, qui estime les bénéfices attendus pour la santé si les concentrations atmosphériques des polluants réglementés respectaient les recommandations de l'OMS, à population et caractéristiques sanitaires constantes. Il s'agit d'une approche dite « contrefactuelle ».

Deux objectifs complémentaires sont adossés à ces approches. Le premier utilise les résultats obtenus dans l'approche « chemin parcouru » afin d'évaluer l'impact à long terme sur la mortalité selon le niveau de défavorisation sociale des populations exposées. Le second propose une première évaluation économique des impacts estimés sur la santé.

### Méthodes

La stratégie méthodologique utilisée est issue du guide publié par Santé publique France (SpF) : « Guide pour la réalisation d'une évaluation quantitative des impacts sur la santé avec une exposition modélisée » (3). La réalisation d'EQIS requiert des données de concentration des polluants traceurs sur un territoire donné ; elle nécessite aussi d'avoir FCR validées par la communauté scientifique qui mettent en relation la concentration d'un polluant traceur et l'incidence d'un événement de santé donné. Pour chaque EQIS réalisée dans cette étude, les données de concentration et d'incidence ont été recueillies sur des périodes de 3 ans avant de calculer une moyenne annuelle.

Dans l'approche « chemin parcouru », les années 2008-2010 constituent la période d'étude initiale et les années 2017-2019 la période d'étude finale. Pour les 2 périodes, l'impact sur la santé de la PA est estimé par rapport aux concentrations guides recommandées par l'OMS en 2021 (4). La différence entre les impacts des 2 périodes permet d'estimer le gain pour la santé potentiellement obtenu grâce à la réduction des niveaux de pollution. Pour l'approche « chemin à parcourir », les années 2017 à 2019 constituent la période d'étude et l'impact sur la santé estimé précédemment, par rapport aux concentrations guides recommandées par l'OMS, représente le gain attendu pour la santé en cas d'atteinte de ces concentrations.

Notre territoire d'étude correspond à celui du 2<sup>ème</sup> PPA de Toulouse, qui comprend aujourd'hui 116 communes, soit 369 ilots regroupés pour l'information statistique (IRIS). Pour chaque IRIS, l'impact à

long terme des polluants traceurs particules fines (PM2.5) et dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) sur la mortalité totale dans la population âgée de 30 ans et plus a été estimé. La concentration moyenne annuelle de ces polluants traceurs a été modélisée pour chaque IRIS et l'effectif de la population âgée de 30 ans et plus a également été recueilli à cette échelle géographique.

L'incidence globale de mortalité a aussi été calculée à l'IRIS mais a nécessité 2 approximations. L'incidence de mortalité n'étant pas directement disponible à l'IRIS mais à la commune, il a été nécessaire de calculer le taux de mortalité à l'échelle communale et d'appliquer celui-ci à la population de l'IRIS dans les cas où la commune contenait plus d'un IRIS. La deuxième approximation est liée au fait que les données de mortalité n'étaient pas encore disponibles pour les années 2017-2019 au moment de l'analyse sur le « chemin parcouru » si bien que les données de mortalité 2015-2017 ont dû être utilisées.

Les FCR utilisées (et leurs intervalles de confiance à 95%, IC95%) dans le cadre de l'analyse de mortalité totale à long terme des personnes de 30 ans et plus sont celles issues du guide SPF précédemment cité (3) : 1.15 [IC95% 1.05 -1.25] pour 10 µg/m<sup>3</sup> d'exposition moyenne annuelle aux PM2.5 et 1.023 [IC95% 1.008 – 1.037] pour 10 µg/m<sup>3</sup> d'exposition moyenne annuelle au NO<sub>2</sub>. La mortalité attribuable à chaque polluant est ainsi calculée pour chaque IRIS puis moyennée sur l'ensemble de la zone pour l'analyse principale.

L'analyse s'intéressant à l'impact de la PA sur la mortalité selon le niveau de défavorisation sociale a utilisé l'indice de défavorisation sociale EDI (*European Deprivation Index*) qui prend en compte la perception individuelle de la défavorisation sociale en fonction du contexte culturel du pays européen et qui est disponible pour la France (French EDI) (5). La valeur numérique du French EDI est disponible à l'IRIS pour les périodes 2011 et 2017, et est respectivement utilisée pour les EQIS des périodes 2009 et 2019. La distribution des valeurs de l'EDI par IRIS sur la zone étudiée est partagée en quintiles. Le 1<sup>er</sup> quintile correspond aux IRIS où la population est la moins défavorisée, le 5<sup>ème</sup> quintile à ceux où la population est la plus défavorisée. La moyenne de la mortalité attribuable aux PM2.5 est ensuite calculée pour les IRIS de chaque quintile.

L'estimation de l'impact économique de la mortalité attribuable à long terme à la PA part du principe qu'un poids économique peut être associé à chaque événement sanitaire. La valeur économique unitaire associée à un décès a fait l'objet de nombreuses études et méta-analyses (6). Elle est aujourd'hui communément appelée « Valeur d'évitement d'un Décès prématuré » ou VED (7).

Cette VED correspond à la part de la richesse nationale qu'une société serait prête à consacrer à l'évitement d'un décès prématuré anonyme parmi ses membres. Le rapport Quinet (8) a proposé d'utiliser une VED de 3 millions d'euros de 2010 dans l'évaluation socioéconomique des investissements publics, se fondant sur les travaux de Lindhjem et al. (6), et de la réévaluer chaque année. Nous la réévaluons donc à sa valeur monétaire de 2018, qui est l'année centrale de la période d'étude 2017-2019, période finale pour l'approche « chemin parcouru » et période initiale pour l'approche « chemin à parcourir ». Nous retenons une marge d'incertitude de +/- 33%, ce qui correspond à une incertitude de +/- 1 écart-type sous l'hypothèse de la distribution normale (7). La VED<sub>2018</sub> et l'incertitude associée sont donc fixées à 3,22 [2,13 ; 4,28] millions d'euros. L'évaluation monétaire associée à l'impact sanitaire de la PA pour une période donnée est ensuite calculée en multipliant cette VED par le nombre de décès attribuables aux PM2.5 sur les périodes étudiées. Afin de tenir compte des incertitudes épidémiologiques, le même calcul est effectué sur les bornes inférieure et supérieure des IC 95% du nombre de cas attribuables estimé.

## Résultats

## Evolution de la population et de son exposition aux PM2.5 et NO<sub>2</sub> entre 2009 et 2019

La population totale sur le territoire du PPA est passée de 929 715 habitants en 2009 à 1 021 952 habitants en 2019. Cette augmentation est observée de façon homogène sur les différentes tranches d'âge. Les concentrations annuelles moyennes des polluants sur ce territoire passe de 17,2 µg/m<sup>3</sup> à 10,3 µg/m<sup>3</sup> pour les PM2.5, et de 21,7 µg/m<sup>3</sup> à 18,1 µg/m<sup>3</sup> pour le NO<sub>2</sub> entre 2009 et 2019. Cela représente une réduction de concentration moyenne annuelle de 40% pour les PM2.5 et de 17% pour le NO<sub>2</sub>. Cette réduction est visible sur les cartes du territoire représentant la modélisation des concentrations pour ces 2 polluants traceurs en 2009 et 2019 (**Figure 1.a**). Malgré cette amélioration de la qualité de l'air, ces concentrations restent au-dessus des valeurs guides OMS 2021 qui sont de 5 µg/m<sup>3</sup> pour les PM2.5, et de 10 µg/m<sup>3</sup> pour le NO<sub>2</sub>.

## Impact de ces concentrations sur la mortalité dans la population des 30 ans et plus

L'impact à long terme sur la santé est constitué des évènements de santé survenant après une exposition chronique à la PA. Les impacts des PM2.5 et du NO<sub>2</sub> sur l'indicateur de mortalité toutes causes des personnes de 30 ans et plus sont présentés à la **Figure 1.b**. Les polluants réglementés PM2.5 et NO<sub>2</sub> utilisés pour les EQIS représentent des indicateurs d'un même mélange atmosphérique urbain complexe. Leurs impacts estimés sur la santé ne peuvent donc pas être ajoutés car l'impact estimé le plus élevé inclus vraisemblablement les autres.

Sur le scénario « chemin parcouru », en 2009, l'incidence annuelle des décès attribuables à long terme aux PM2.5 est estimée à 158,5/100 000 habitants. Cet impact diminue en 2019 avec une estimation centrale à 73,3 décès/100 000 habitants. De façon plus synthétique, la part de mortalité annuelle attribuable à la surexposition aux PM2.5 passe en moyenne de 15,8% en 2009 à 7,3% en 2019. Parallèlement, l'incidence des décès attribuables à long terme au NO<sub>2</sub> est nettement inférieure à celle des PM2.5 : 26,9/100 000 habitants en 2009. Cette estimation diminue en 2019, mais moins fortement que celle des PM2.5, puisqu'elle est estimée à 18,9/100 000 habitants. Au total, le gain sanitaire obtenu est celui estimé pour le polluant traceur ayant l'impact le plus élevé, c'est-à-dire celui des PM2.5.

Sur le scénario « chemin à parcourir », en 2019, on estime en moyenne à 442 le nombre total de décès qui auraient pu être évités chaque année dans la population âgée de 30 ans et plus résidant sur le territoire du PPA, si la concentration moyenne annuelle de PM2.5 avait déjà atteint la valeur guide OMS 2021 et à 114 décès si la concentration moyenne annuelle de NO<sub>2</sub> avait déjà atteint cette valeur.

Au total, l'impact du NO<sub>2</sub> étant largement inférieur à celui des PM2.5 sur cet indicateur de mortalité, c'est ce dernier qui sera retenu comme étant le plus proche de l'impact réel de la PA sur la mortalité, et donc utilisé dans les analyses complémentaires.

## Déclinaison de ces résultats selon le niveau de défavorisation sociale

L'ensemble des résultats est représenté sur la **Figure 2.a**. Sur la période 2009, on observe une augmentation régulière mais faible (5,4%) de la concentration des PM2.5 des IRIS du quintile le moins défavorisé aux IRIS du quintile le plus défavorisé. Parallèlement, on observe une augmentation de l'impact sur la mortalité également régulière mais plus importante (25,5%) des IRIS du quintile le moins défavorisé aux IRIS du quintile le plus défavorisé. En 2019, malgré l'amélioration de la qualité de l'air sur l'ensemble du territoire du PPA de Toulouse, il existe toujours un gradient croissant de concentration du quintile le moins défavorisé au quintile le plus défavorisé ; avec une augmentation de 7,7%. On observe encore une augmentation de l'impact sur la mortalité avec le niveau de défavorisation sociale, toujours régulière, et là aussi d'ampleur encore plus importante qu'en 2009 (30,4%) du quintile le moins défavorisé au quintile le plus défavorisé.

## Approche exploratoire médico-économique

Le tableau représenté sur le **Figure 2.b** estime les bénéfices économiques annuels qu'il aurait été possible de réaliser si les valeurs guides OMS-2021 avaient été respectées, et l'impact de la PA sur la mortalité des 30 ans et plus ramené ainsi à zéro en 2009 et en 2019. De façon logique, les résultats de cette évaluation sont proportionnels aux résultats de l'impact de la PA sur la mortalité toutes causes dans la population âgée de 30 ans et plus. Sur ces bases, les bénéfices économiques annuels attendus sur le territoire du deuxième PPA en 2009 se seraient élevés à 2 772 millions d'euros<sub>2018</sub>. En 2019, ces bénéfices économiques attendus auraient encore atteint 1 423 millions d'euros<sub>2018</sub>. Ce sont des estimations centrales sur lesquelles s'appliquent les différentes incertitudes de nature économique (borne inférieure et supérieure) et épidémiologique lié à la méthodologie des EQIS ([IC95%]).

## Discussion

La réalisation de ces EQIS a permis de montrer que la PA mesurée en différents points du territoire du PPA de Toulouse, et modélisée au niveau de l'IRIS pour les PM<sub>2.5</sub> et le NO<sub>2</sub> a baissé de façon significative pendant la période 2009-2019. Cette baisse est mécaniquement associée à une réduction importante de la part de certains décès qui sont attribuables à la PA. Bien que ces résultats soient encourageants, les concentrations de ces 2 polluants traceurs restent, en 2019, au-delà des nouvelles valeurs guides OMS 2021. Les actions de réduction de la PA doivent donc être maintenues dans le cadre du 3<sup>ème</sup> PPA de Toulouse et sans doute renforcées sur les sources d'émission de particules.

L'analyse complémentaire a mis en évidence un gradient des concentrations, croissant avec le niveau de défavorisation sociale de la population. Cela se traduit par un gradient de mortalité attribuable à la PA, croissant également avec le niveau de défavorisation, et plus important que celui des concentrations en raison de la fragilité croissante des populations avec leur niveau de défavorisation, et pour lesquelles l'exposition à la PA a des conséquences plus importantes en termes d'impact sanitaire. Ces résultats sont corroborés par de nombreuses études (9–11), mais nous montrons ici que, même si la situation globale s'améliore, les gradients d'exposition et de mortalité s'aggravent de façon significative entre les périodes 2009 et 2019. De plus, ce gradient d'impact sur la santé est probablement sous-estimé, car pour les grosses communes de la zone étudiée comme Toulouse par exemple, le même taux de mortalité globale a été appliqué à l'ensemble des nombreux IRIS de la commune. Or, il est très probable que ce taux augmente avec le niveau de défavorisation des populations résidentes sur les différents IRIS.

Enfin, l'évaluation économique a permis d'estimer que la mortalité attribuable à la PA représentait un fardeau important pour la société. C'était particulièrement vrai en 2009, et cela le reste en 2019 compte tenu des efforts restant à fournir pour atteindre les valeurs guide OMS 2021. Le respect rapide de ces seuils se traduirait par des bénéfices sanitaires et économiques dont les montants devraient être mis en perspective avec les investissements nécessaires à la mise en œuvre des actions de réduction du facteur de risque pour la santé que représente la PA.

De nombreuses limites sont associées à la réalisation d'EQIS. Elles sont essentiellement liées aux incertitudes inhérentes à l'utilisation de FCR dans des populations supposées similaires à celles où elles ont été calculées, à la mesure et à la modélisation des données d'exposition au lieu de résidence et à la non prise en compte du délai entre exposition chronique à un polluant atmosphérique et à son effet délétère sur la santé (3). A ces limites inhérentes à la méthode, notre étude ajoute celles associées à l'utilisation de données de mortalité et d'EDI qui étaient uniquement disponibles à des périodes pour lesquelles le chevauchement avec les données d'exposition n'était pas toujours parfait. On peut néanmoins faire raisonnablement l'hypothèse que l'EDI et la mortalité n'évoluent qu'assez lentement dans le temps. Du point de vue économique, les estimations exploratoires associées à la surmortalité liée à l'exposition à la PA n'intègrent pas non plus le délai entre diminution de l'exposition et observation de l'intégralité de ses effets. Si elles estiment correctement les bénéfices à attendre à

l'équilibre de long terme du respect des valeurs guides OMS, elles devront être considérées avec précaution dans des analyses de type coûts-bénéfices (12).

Nos résultats restent néanmoins méthodologiquement robustes et cohérents avec de nombreuses autres études ayant mis en perspective de manière qualitative et quantitative les liens entre PA et impact sanitaire (1,13–15). Ils contribuent à mettre en évidence que les actions déjà mises en œuvre par les autorités locales ont été efficaces au regard de l'amélioration de la qualité de l'air sur le territoire du PPA de Toulouse. Nos résultats soulignent toutefois que le travail doit être poursuivi afin que les valeurs guides OMS 2021 soient atteintes dans les plus brefs délais. L'effort à fournir doit être particulièrement soutenu auprès des populations les plus défavorisées dont on a pu montrer qu'elles continuent à être plus exposées à la PA et que cette surexposition a des conséquences encore plus importantes sur leur santé qui est connue pour être plus fragile.

## Remerciements et autres mentions

O. Chanel remercie l'aide de l'Etat opérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du plan d'investissement France 2030 portant la référence ANR-17-EURE-0020 et l'Initiative d'Excellence d'Aix-Marseille Université - A\* MIDEX.

## Références

1. Pascal M, de Crouy Chanel P, Wagner V, Corso M, Tillier C, Bentayeb M, Blanchard M, Cochet A, Pascal L, Host S, Gorla S, Le Tertre A, Ung A, Beaudeau P, Medina S. Analyse des gains en santé de plusieurs scénarios d'amélioration de la qualité de l'air en France continentale. Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire, 2016, n° 26-27, p 430-7.
2. Cassadou S, Declercq C, Eilstein D, Fabre P, Filleul L, Le Tertre A, et al. Surveillance des effets de la pollution atmosphérique en milieu urbain sur la santé : le Programme français PSAS-9. Vertigo - Rev Électronique En Sci Environ [Internet]. 1 mai 2003 [cité 20 févr 2024];(Volume 4 Numéro 1). Disponible sur: <https://journals.openedition.org/vertigo/4595?lang=pt>
3. Pascal M, Yvon JM, Medina S. Guide pour la réalisation d'une évaluation quantitative des impacts sur la santé (Egis). Egis avec une exposition modélisée. Santé publique France, 2019 : 96p. [Internet]. Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/articles/pollution-atmospherique-evaluations-quantitatives-d-impact-sur-la-sante-egis-pa#block-204198>
4. What are the WHO Air quality guidelines? [Internet]. [cité 7 déc 2022]. Disponible sur: <https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/what-are-the-who-air-quality-guidelines>
5. Pornet C, Delpierre C, Dejardin O, Grosclaude P, Launay L, Guittet L, et al. Construction of an adaptable European transnational ecological deprivation index: the French version. J Epidemiol Community Health. nov 2012;66(11):982-9.
6. Lindhjem H, Navrud S, Braathen N-A, et al. Valuing mortality risk reductions from environmental, transport, and health policies: A global meta-analysis of stated preference studies. Risk Anal 2011;31(9):1381-407.
7. Holland M, Hurley F, Hunt A et al. Cafe Methodology for the cost-benefit Analysis for CAFE: volume 3: Uncertainty in the CAFE CBA.
8. Quinet E. L'évaluation socioéconomique des investissements publics - Rapport de la mission présidée par Emile Quinet. Paris : Commissariat général à la stratégie et à la prospective. 2013:1-351.

9. Deguen S, Petit C, Delbarre A, Kihal W, Padilla C, Benmarhnia T. 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 [Internet]. 2015; Disponible sur: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131463>
10. Deguen S, Desfontaines V, Soret J, Stahl M, Talantikite W, Vandentorren S. De l'injustice sociale dans l'air : pauvreté des enfants et pollution de l'air. oct 2021; Disponible sur: <https://www.unicef.fr/article/pollution-de-lair-et-pauvrete-des-enfants-de-linjustice-sociale-dans-lair/>
11. Deguen S, Vasseur P, Kihal-Talantikite W. Inégalités sociétales et exposome urbain, des origines sociales pour des expositions différentes. Médecine / Sciences. 2022;75-80.
12. Chanel O, Scapecchi P, Vergnaud J-C. How to correctly assess mortality benefits in public policies, J Env Planning Manage, 2006;49(5):759-76.
13. Pascal M, de Crouy Chanel P, Wagner V, Corso M, Tillier C, Bentayeb M, et al. The mortality impacts of fine particles in France. Sci Total Environ. 15 nov 2016;571:416-25.
14. Host S, Honoré C, Joly F, Saunal A, Le Tertre A, Medina S. Implementation of various hypothetical low emission zone scenarios in Greater Paris: Assessment of fine-scale reduction in exposure and expected health benefits. Environ Res. juin 2020;185:109405.
15. Ostro B, Chestnut L. Assessing the health benefits of reducing particulate matter air pollution in the United States. Environ Res. févr 1998;76(2):94-106.

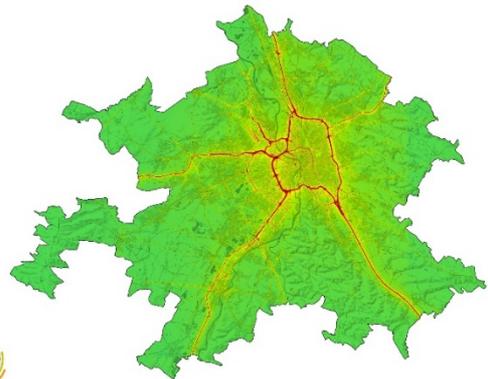
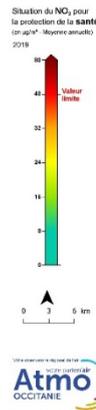
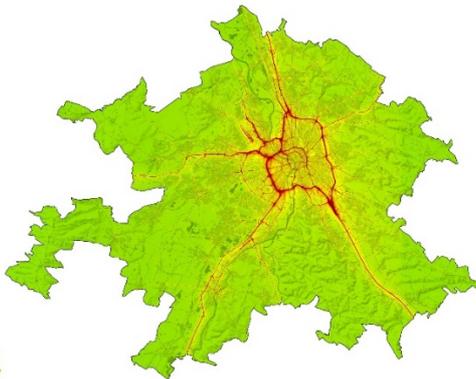
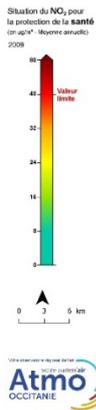
Figure 1

**Figure 1.a** : concentrations moyennes annuelles des polluants traceurs PM2.5 et NO<sub>2</sub> sur le territoire du PPA sur les 2 périodes d'étude. Mean annual concentrations of PM2.5 and NO<sub>2</sub> tracer pollutants across the PPA territory over the two study periods.

**Polluant traceur NO<sub>2</sub>**

Année 2009

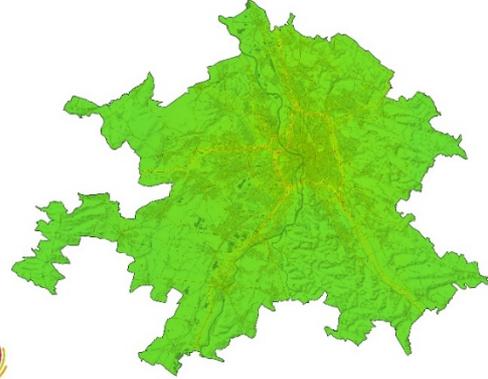
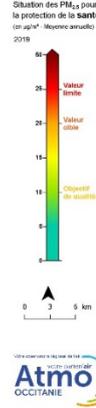
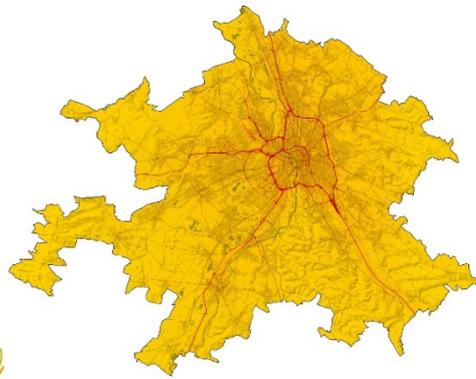
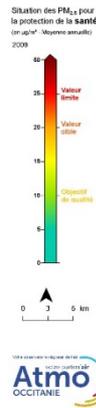
Année 2019



**Polluant traceur PM2.5**

Année 2009

Année 2019



**Figure 1.b :** Mortalité totale des personnes de 30 ans et plus, mis en perspective avec la mortalité attribuable aux PM2.5 et au NO<sub>2</sub> en 2009 et en 2019 sur le territoire du PPA. Total mortality of individuals aged 30 and over, juxtaposed with mortality attributable to PM2.5 and NO<sub>2</sub> in 2009 and 2019, within the PPA territory.

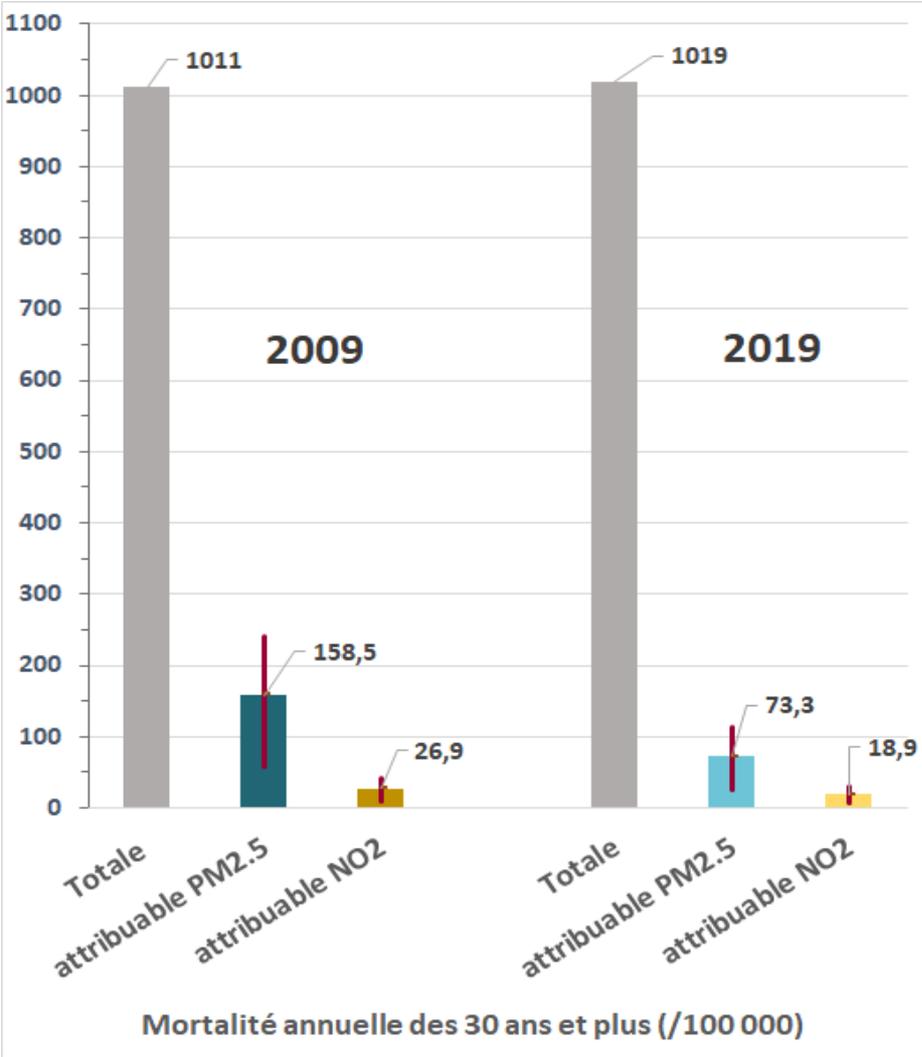
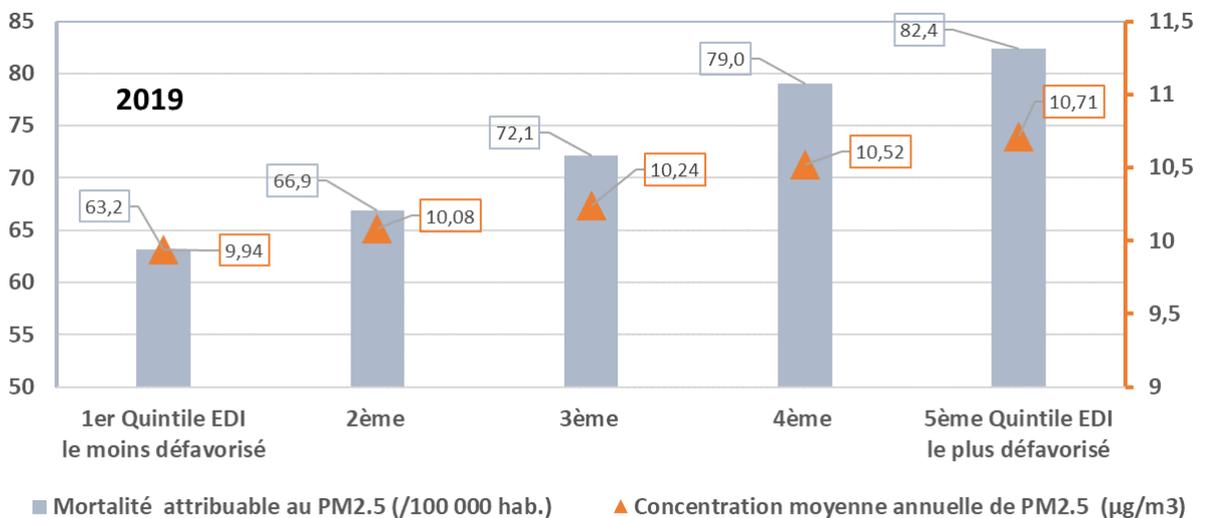
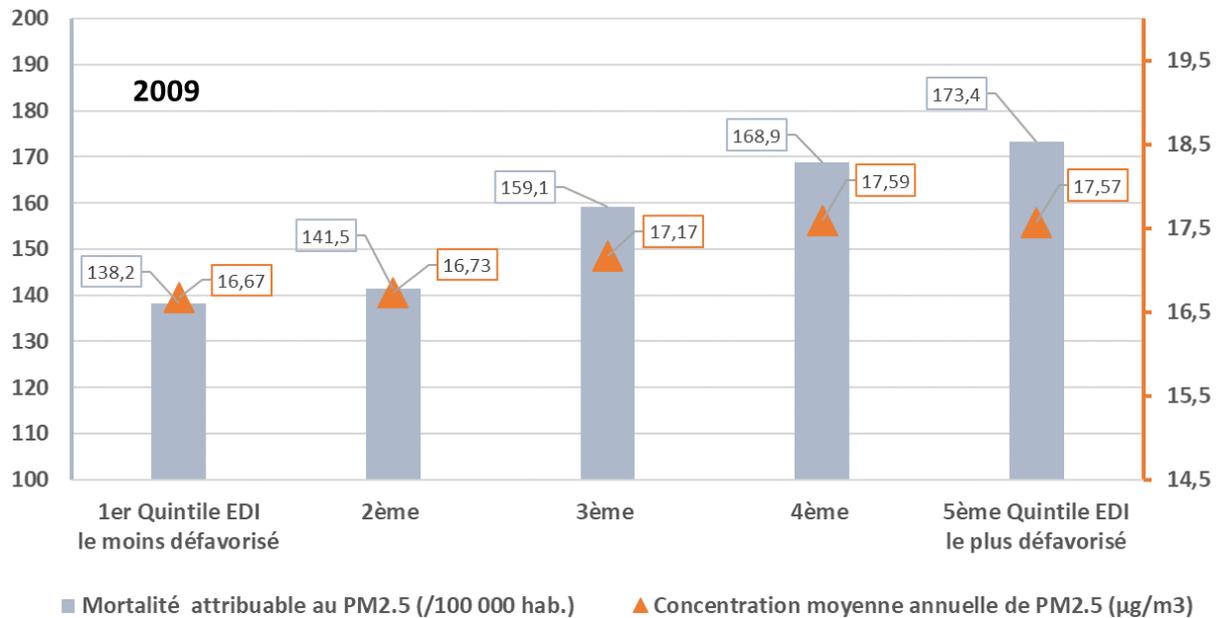


Figure 2

**Figure 2.a :** Exposition moyenne annuelle aux PM2.5 et mortalités attribuables (/100 000) dans la population des 30 ans et plus, décliné selon les quintiles de défavorisation sociale sur le territoire du PPA. Annual average exposure to PM2.5 and attributable mortalities (/100,000) in the population aged 30 and over, disaggregated by quintiles of social deprivation, within the PPA territory.



**Figure 2.b** : Estimation annuelle des bénéfices économiques attendus à long terme, en raison des décès potentiellement évités dans la population de 30 ans et plus si les valeurs guides de l'OMS-2021 sur les PM2.5 avaient été respectées en 2009 et 2019 (en millions d'euros<sub>2018</sub>). Annual estimate of the expected long-term economic benefits, due to potentially avoided deaths in the population aged 30 and over, if the PM2.5 2021-WHO guidelines values had already been reached in 2009 and 2019 (in millions of euros<sub>2018</sub>), within the PPA territory.

Période	Borne inférieure de l'impact économique [IC95%]	Impact économique central [IC 95%]	Borne supérieure de l'impact économique [IC 95%]
<b>2009</b>	1 834 [676 ; 2 788]	<b>2 772 [1 022 ; 4 214]</b>	3 685 [1 358 ; 5 601]
<b>2019</b>	941 [337 ; 1 470]	<b>1 423 [509 ; 2 223]</b>	1 892 [677 ; 2 954]