

# Pollution de l'air, santé et défaveur sociale : une étude d'impact sanitaire à une échelle spatiale fine

## Atmospheric Pollution, Health and Social Deprivation: A Fine-Scale Health Impact Assessment

Rémy SLAMA  
Xavier MORELLI

Institut pour l'Avancée des Biosciences, U1209, Université Grenoble-Alpes, France

Camille RIEUX  
Air Rhône-Alpes, Grenoble, France

Joseh CYRYS  
Institute of Epidemiology II, Neuherberg, Germany

Bertil FORSBERG  
Dept of Public Health and Clinical Medicine, Umea University, Umea, Sweden.

*Cet article s'appuie sur la publication suivante: Morelli X, Rieux C, Cyrus J et al. (2016). Air pollution, health and social deprivation: A fine-scale risk assessment. Environ Res, n° 147, p. 59-70.*

### Résumé

Les polluants atmosphériques, et en particulier les particules fines en suspension ( $PM_{2,5}$ ), ont un effet démontré sur la mortalité et le risque de cancer du poumon, et, dans le cas de l'exposition des femmes enceintes, un effet présumé sur le risque de petit poids de naissance. Le nombre de cas attribuables à cette exposition peut être estimé par l'approche des études d'impact sanitaire ; la plupart d'entre elles se sont appuyées sur les données des stations de surveillance de la qualité de l'air, ce qui est susceptible de sous-estimer les expositions et, sous certaines hypothèses, l'impact sanitaire estimé. Notre objectif était de

quantifier le risque associé à l'exposition aux  $PM_{2,5}$  à Grenoble et Lyon, en s'appuyant sur une modélisation de la pollution de l'air à fine échelle ; un objectif secondaire était de caractériser comment ce risque variait en fonction de la défaveur sociale.

L'approche était celle de l'étude d'impact sanitaire ; elle s'appuyait sur le modèle de dispersion atmosphérique SIRANE pour les expositions, des données de densité de population à fine échelle, alors que les caractéristiques sociales ont été caractérisées spatialement par l'indice de défaveur sociale européen, ou EDI.

L'estimation était que chaque année entre 3 à 7 % des décès survenant dans l'agglomération de Grenoble étaient dus aux effets de la pollution atmosphérique. Dans l'agglomération de Lyon, le risque était entre 4 et 8 %. Cela correspondait à environ 114 décès dans l'agglomération grenobloise (sur une population de 385 000 habitants) et de 491 habitants à Lyon sur une population de 1,2 million d'habitants. À Grenoble, entre 3 et 10 % des nouveaux cas de cancer du poumon étaient dus à la pollution atmosphérique. Plusieurs dizaines de cas de petits poids de naissance chez les enfants nés à terme seraient aussi dus à la pollution chaque année. À Grenoble, le risque avait tendance

à être plus élevé dans les quartiers socialement défavorisés ou très défavorisés, par rapport aux quartiers socialement plus favorisés, alors qu'à Lyon l'impact était plus élevé pour les niveaux intermédiaires de défaveur sociale. S'appuyer sur les stations de fond de surveillance de la qualité de l'air entraînait une sous-estimation de l'exposition et du nombre de cas attribuables aux  $PM_{2,5}$ , par rapport à l'utilisation du modèle de dispersion avec une résolution spatiale fine.

### Mots-clés

Défaveur sociale, étude d'impact sanitaire, fardeau de maladies, modèle de dispersion, particules fines, pollution atmosphérique, risque attribuable.

### Abstract

*Atmospheric pollutants, and specifically fine particulate matter ( $PM_{2,5}$ ), have a proven effect on mortality and lung cancer risk and, in the case of exposure of pregnant women, a presumed effect on low birth weight occurrence. The number of cases attributable to  $PM_{2,5}$  exposure can be estimated by health impact assessment (HIA) studies. Most former HIAs relied on exposure data from the network of permanent monitoring stations, which is likely to underestimate exposure and, under specific hypotheses, the attributable health impact. Our aim was to quantify the health impact of  $PM_{2,5}$  exposure in Grenoble and Lyon areas, relying on fine-scale air pollution modelling; a secondary aim was to estimate if this impact varied with social deprivation.*

*We conducted a health impact assessment study relying on SIRANE fine-scale exposure model and population density data at the same scale; social deprivation was estimated at the neighbourhood scale through the European Deprivation Index (EDI).*

*Each year, an estimated 3 to 7% of deaths occurring in Grenoble area were attributable to fine particulate matter exposure (114 deaths in a population of 385,000 inhabitants). In Lyon area, the corresponding range was 4 to 8% (491 deaths for 1.2 million inhabitants). In Grenoble, 3 to 10% of lung cancer cases were attributable to  $PM_{2,5}$  exposure, while tens of term low birth weight cases could be induced by this exposure. In Grenoble,  $PM_{2,5}$  health impact tended to be higher in neighbourhoods with intermediate to high social deprivation while in Lyon the impact was higher for the neighbourhoods with intermediate social deprivation. Reliance on background monitoring stations to estimate exposure entailed an under-estimation of  $PM_{2,5}$  exposure and of the health impact, compared to our main analysis based on SIRANE fine-scale model.*

### Keywords

*Social deprivation, health impact assessment, burden of disease, exposure model, fine particulate matter, atmospheric pollution, attributable risk.*

## Introduction

De nombreuses études épidémiologiques se sont intéressées aux effets de la pollution atmosphérique sur la santé humaine. Avec les études toxicologiques, elles ont permis de caractériser les effets de certains polluants atmosphériques, en particulier les particules en suspension (ou *particulate matter*, PM) telles que les  $PM_{10}$  – particules ayant un diamètre aérodynamique de moins de  $10\ \mu m$  – et les  $PM_{2,5}$  – celles ayant un diamètre inférieur à  $2,5\ \mu m$ . Elles ont permis de démontrer avec certitude que l'exposition aux PM augmente la mortalité et la morbidité respiratoire et cardio-vasculaire (World Health Organization, 2013). Des études suggèrent que la pollution de l'air pourrait aussi avoir des effets sur les issues de grossesse, le neurodéveloppement et la fonction cognitive, ou encore le diabète (Shah et Balkhair, 2011 ; Raz *et al.*, 2015 ; Raaschou-Nielsen *et al.*, 2013).

L'exposition à la pollution de l'air est susceptible de différer selon le niveau de défaveur sociale. En Europe, aucune tendance systématique claire n'émerge quant à la direction de cette association, à l'inverse des États-Unis, où les résultats des études convergent dans le sens d'une plus grande exposition dans les quartiers les plus défavorisés (Deguen et Zmirou-Navier, 2010 ; Hajat, Hsia et O'Neill, 2015). Les quelques études conduites en France ont trouvé des résultats différents selon la ville, allant d'une exposition plus importante chez les plus défavorisés (Lille, Marseille) à la situation inverse (Paris), ou encore une situation intermédiaire où les quartiers les plus exposés étaient ceux ayant un niveau de défaveur sociale intermédiaire (Lyon) (Padilla *et al.*, 2014).

Les études d'épidémiologie étiologiques mettent en évidence des relations dose-réponse à l'échelle individuelle. Ces relations dose-réponse (sous la forme, par exemple, d'un *odds-ratio*) n'expriment pas à elles seules le fardeau de maladie (ou risque) associé à l'exposition à l'échelle de la population dans son ensemble. Cette traduction peut être obtenue au moyen d'Études d'Impact Sanitaire (EIS). Ces études

nécessitent une connaissance de la distribution des expositions dans la population, en plus de celle des relations dose-réponse avec les événements de santé considérés.

Le déroulement d'une EIS peut se décomposer en quatre étapes<sup>1</sup> : 1. Identification du danger ; 2. Choix de la relation dose-réponse ; 3. Estimation des expositions, et 4. Caractérisation du risque. Les EIS se situent en aval des études étiologiques et traduisent un effet de la pollution de l'air à l'échelle de l'individu – en termes de risque relatif (ou *odds-ratio*) – en un effet à l'échelle de la population, exprimé, par exemple, en nombre de cas (de décès ou de maladie) attribuables à l'exposition. De telles estimations sont utiles dans le domaine de la prise de décision en santé publique, et facilitent la communication sur le fardeau de maladie et la hiérarchisation des facteurs de risque à gérer, en mettant les différents facteurs de risque en perspective, comme illustré, par exemple, dans le contexte du *Burden of Disease project*.

La caractérisation précise des effets de la pollution de l'air sur la santé peut être limitée par la qualité de l'estimation des expositions. Un biais de classement peut avoir un impact négatif sur la puissance statistique des études épidémiologiques, biaiser les fonctions dose-réponse (sauf si l'erreur de mesure est de type Berkson, auquel cas il n'y a pas de biais systématique attendu) et par conséquent les estimations d'impact sanitaire qui en découlent (Nieuwenhuijsen, 2015). La plupart des EIS réalisées en milieu urbain par le passé s'appuyaient sur les concentrations en polluants enregistrées en routine par les stations de fond du réseau de surveillance de la qualité de l'air des AASQA (Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air). Pour les EIS, reposer sur de telles données de fond entraîne un biais de classement des expositions, car les stations de fond ne sont pas censées capturer les augmentations des niveaux de pollution locales à proximité de sources, et du fait de la résolution spatiale limitée du réseau de stations permanentes. Ainsi, à Grenoble et à Lyon, respectivement une et trois stations de fond enregistrent les concentrations en particules fines (PM<sub>2,5</sub>), tandis que les deux agglomérations couvrent 250 et 500 km<sup>2</sup>. Les avancées en expologie, telles que

le développement des modèles de dispersion ou d'autres modèles avec une résolution spatiale fine comme les modèles de type LUR (*Land Use Regression*) ont ouvert de nouvelles perspectives pour les zones urbaines aux forts contrastes spatiaux. Ces modèles fins ont été utilisés dans plusieurs études étiologiques (visant à établir des relations dose-réponse). Leur utilisation semble pertinente aussi pour les EIS, même si la relation dose-réponse sur laquelle s'appuie l'EIS inclut des études dans lesquelles les expositions ont été estimées à l'aide du réseau de stations fixes. En effet, si la relation dose-réponse est estimée à l'aide d'une approche (telle que celle s'appuyant sur les réseaux de surveillance) susceptible de ne pas biaiser la relation dose-réponse (situation d'erreur de type dit de Berkson), alors une estimation du risque s'appuyant sur une mesure de l'exposition non-biaisée est pertinente – ce qui est en faveur de l'utilisation de modèles de dispersion, qui prennent en compte les « points chauds » de pollution. Si jamais l'approche utilisée pour caractériser la relation dose-réponse est susceptible d'entraîner une sous-estimation de cette relation (cas d'une erreur de type classique), alors utiliser dans l'EIS une approche qui sous-estimera les expositions ne fera qu'amplifier la sous-estimation, en cumulant la sous-estimation liée à la relation dose-réponse à une sous-estimation de l'exposition. Les connaissances sont encore limitées quant à l'ordre de grandeur du biais résultant dans les EIS d'une estimation des expositions au moyen des données des stations fixes, par rapport à des modèles de dispersion.

## 1. Objectif

Notre objectif était de réaliser une étude de l'impact sanitaire des particules fines (PM<sub>2,5</sub>) dans les agglomérations de Grenoble et Lyon, au moyen d'une modélisation à l'échelle spatiale fine. Les objectifs secondaires étaient de décrire comment cet impact sanitaire variait en fonction de la défaveur sociale, et, sur un plan méthodologique, si l'utilisation des stations de surveillance ou d'un modèle de dispersion pour caractériser la distribution des expositions avait une influence sur les résultats de l'EIS.

## 2. Aperçu des méthodes

Dans les agglomérations de Grenoble et de Lyon (respectivement 0,4 et 1,2 million d'habitants), l'exposition de la population

<sup>1</sup> Voir, par exemple, la méthodologie de Santé Publique France : <http://www.invs.sante.fr/Publications-et-outils/Guides/Comment-realiser-une-evaluation-de-l-impact-sanitaire-de-la-pollution-atmospherique-urbaine>

aux  $PM_{2.5}$  a été estimée en couplant les concentrations de  $PM_{2.5}$  issues d'un modèle de dispersion (le modèle SIRANE) avec la densité de population. Les données étaient disponibles sur une grille de 10 m sur 10 m, pour l'année 2012. Les événements de santé retenus étaient la mortalité non accidentelle, l'incidence du cancer du poumon (à Grenoble seulement, grâce à la présence du Registre du cancer de l'Isère) et des petits poids de naissance à terme (correspondant à un poids de moins de 2 500 g pour une naissance après 37 semaines de gestation). Les relations dose-réponses retenues étaient issues de méta-analyses sur des grands effectifs, correspondant à celle coordonnée par l'Organisation Mondiale de la Santé pour la mortalité (World Health Organization, 2014) et celle d'Hamra *et al.* (2014) pour la relation entre  $PM_{2.5}$  et cancer du poumon. Pour la relation dose-réponse entre  $PM_{2.5}$  et petit poids de naissance à terme, nous nous appuyons sur deux études : l'analyse poolée issue du projet européen ESCAPE, qui concernait 50 000 naissances dans des agglomérations européennes et s'appuyait sur un modèle d'exposition avec une résolution spatiale fine (Pedersen *et al.*, 2013), et une autre méta-analyse dans neuf pays, donnant une relation dose-réponse plus faible (Dadvand *et al.*, 2013). Les nombres de cas attribuables à la pollution de l'air ont été estimés à l'échelle de l'agglomération, et en stratifiant par quartier selon l'indice de défaveur sociale EDI (*European Deprivation Index*) (Pornet *et al.*, 2012). Les estimations d'impact sanitaire ont été répétées en estimant la distribution de l'exposition aux polluants à l'aide du réseau de stations de fond.

### 3. Principaux résultats

Parmi les 385 000 habitants de l'agglomération de Grenoble et les 1,2 million d'habitants de l'agglomération de Lyon, l'exposition médiane aux  $PM_{2.5}$  était de  $18,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à Grenoble (5<sup>e</sup> et 95<sup>e</sup> centiles d'exposition,  $17,4$  et  $19,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et  $19,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à Lyon (5<sup>e</sup> et 95<sup>e</sup> centiles,  $18,5$  et  $21,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), respectivement. L'estimation du risque associé à ces niveaux était de 114 (Grenoble) et 491 (Lyon) décès non accidentels attribuables à l'exposition à long terme aux  $PM_{2.5}$ , ou respectivement 5,1 % (intervalle de confiance à 95 %, IC 95 % : 3,2-7,0 %) et 6,0 % du total des décès (IC 95 % : 3,7-8,3 %) (figure 1, tableau 1).

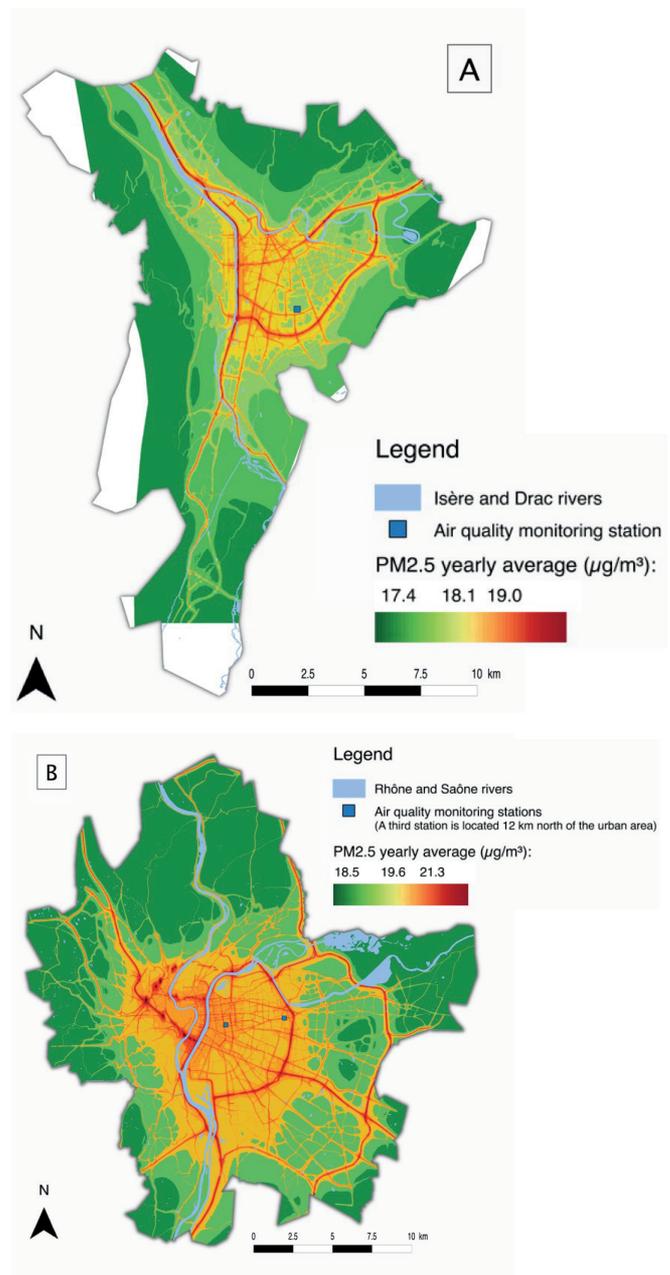


Figure 1.  
Modèle de pollution atmosphérique pour les concentrations en particules fines ( $PM_{2.5}$ ) dans les agglomérations de Grenoble (A) et Lyon (B) (2012, moyennes annuelles).

*Predicted fine particulate matter ( $PM_{2.5}$ ) levels in Grenoble (A) and Lyon (B) areas (2012 average).*

Événement de santé	Nombre d'événements délétères observé (2007)	Nombre de cas attribuables (% du total) associés aux niveaux de $PM_{2,5}$ <sup>a</sup>		Intervalle de confiance à 95%	(% du total)
<b>Mortalité non-accidentelle</b>					
Grenoble	2 250	114	(5,1 %)	71–157	(3,2–7,0 %)
Lyon	8 150	491	(6,0 %)	305–675	(3,7–8,3 %)
<b>Incidence du cancer du poumon</b>					
Grenoble	195	13,2	(6,8 %)	6,1–19,7	(3,1–10,1 %)
<b>Incidence des faibles poids de naissances à terme</b>					
<i>Relation dose-réponse de Pedersen et al.</i>					
Grenoble	133 <sup>b</sup>	31,4	(23,6 %)	12,0–49,4	(9,0–37,1 %)
Lyon	474 <sup>b</sup>	131	(27,6 %)	50,8–202	(10,7–42,6 %)
<i>Relation dose-réponse de Dadvand et al.</i>					
Grenoble	133 <sup>b</sup>	9,9	(7,4 %)	3,2–16,8	(2,4–12,6 %)
Lyon	474 <sup>b</sup>	42	(8,9 %)	13,5–70,5	(2,8–14,9 %)

<sup>a</sup> Comparé à la situation contrefactuelle correspondant au respect de la valeur guide de l'Organisation Mondiale de la Santé (moyenne annuelle de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

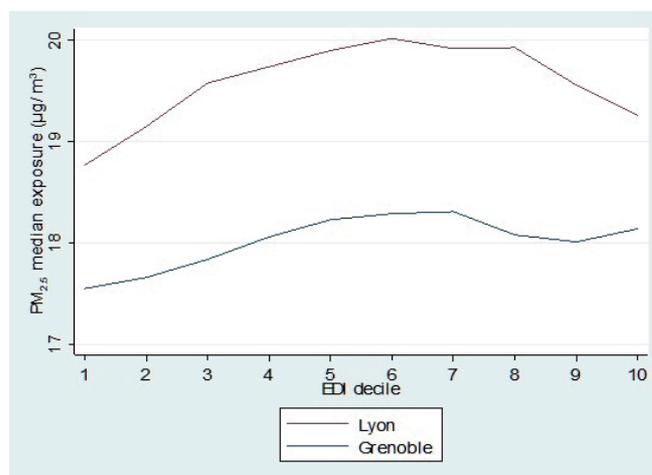
<sup>b</sup> Estimation du nombre de poids de naissance < 2 500 g parmi les naissances à termes ( $\geq 37$  semaines d'aménorrhée).

Tableau 1.

Estimation des nombres de cas attribuables à l'exposition aux particules fines ( $PM_{2,5}$ ) en 2012 dans les agglomérations de Grenoble et Lyon (mortalité non-accidentelle, incidence du cancer du poumon et du faible poids de naissance à terme), en prenant en compte finement les variations spatiales des niveaux de particules.

*Estimated number of deaths and disease cases attributable to fine particulate matter ( $PM_{2,5}$ ) exposure in Grenoble and Lyon, taking into account fine-scale variations in particulate matter.*

Le nombre de petits poids de naissance (à terme) attribuables à la pollution de l'air représentait 23,6 % (IC 95 % : 9,0-37,1 %) du total à Grenoble, et 27,6 % (IC 95 % : 10,7-42,6 %) du total à Lyon quand on s'appuyait sur la relation dose-réponse de Pedersen *et al.* Il était de 7,4 % (Grenoble) et 8,9 % (Lyon) quand on utilisait la relation dose-réponse alternative tirée de la méta-analyse de Dadvand *et al.* À Grenoble, 6,8 % des nouveaux cas de cancer du poumon étaient attribuables à la pollution de l'air (IC 95 % : 3,1-10,1 %). L'impact sanitaire était réduit de 8 à 20 % quand on estimait l'exposition aux  $PM_{2,5}$  au moyen de stations de surveillance de la qualité de l'air plutôt qu'à partir du modèle de dispersion couplé aux données sur la densité de population. L'impact sanitaire était plus élevé dans les quartiers (ou IRIS) ayant un niveau de défaveur social intermédiaire ou légèrement plus élevé que la moyenne, par rapport aux quartiers les plus favorisés socialement (figures 2 et 3).

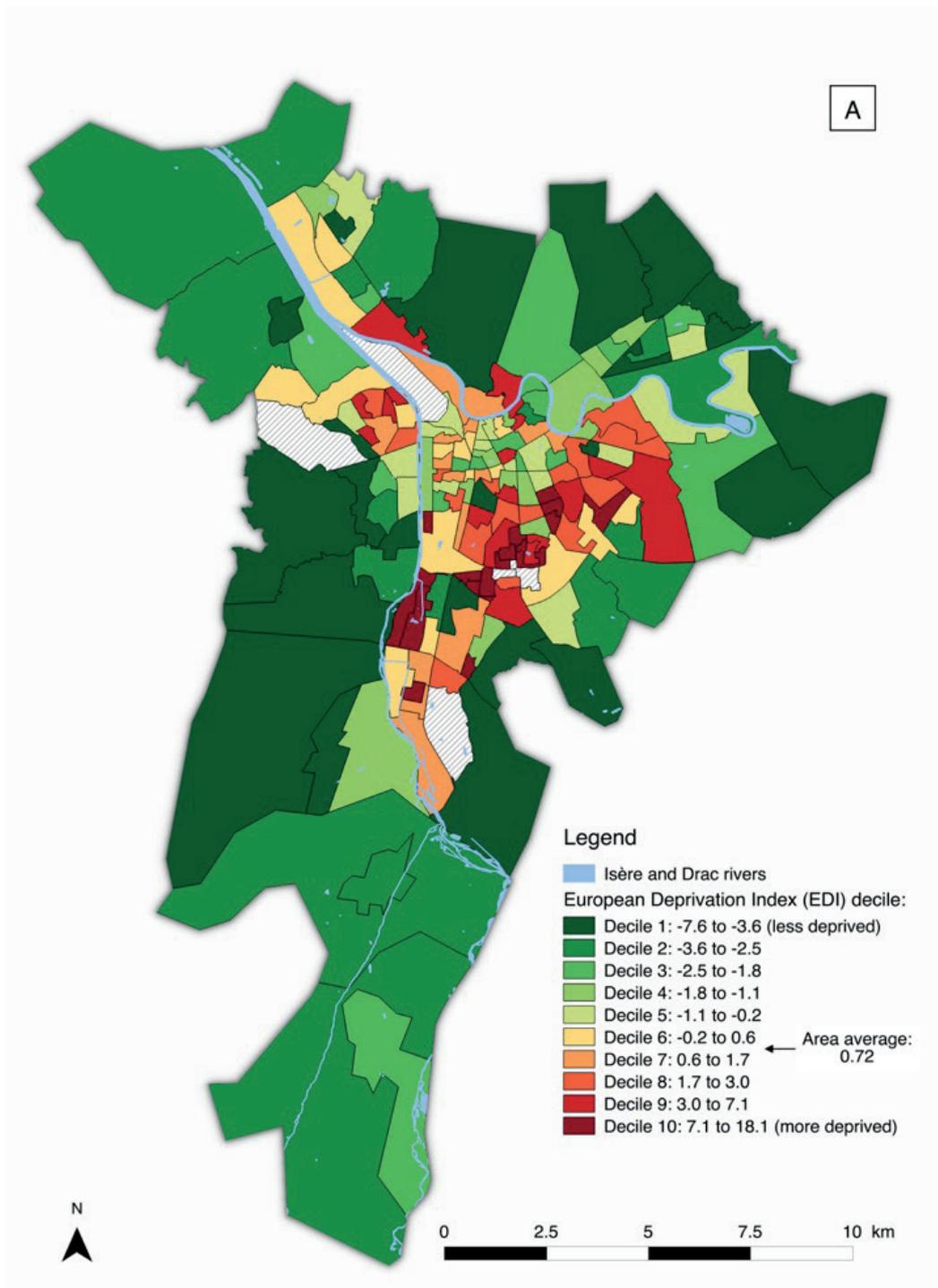


EDI : European Deprivation Index.

Figure 2.

Expositions médianes aux particules fines ( $PM_{2,5}$ ) par quartiers groupés en déciles selon leur défaveur sociale (indice EDI), à Grenoble et à Lyon.

*Median  $PM_{2,5}$  levels in Grenoble and Lyon, according to the deprivation level. Study areas have been grouped in deciles of the social deprivation (EDI) index.*



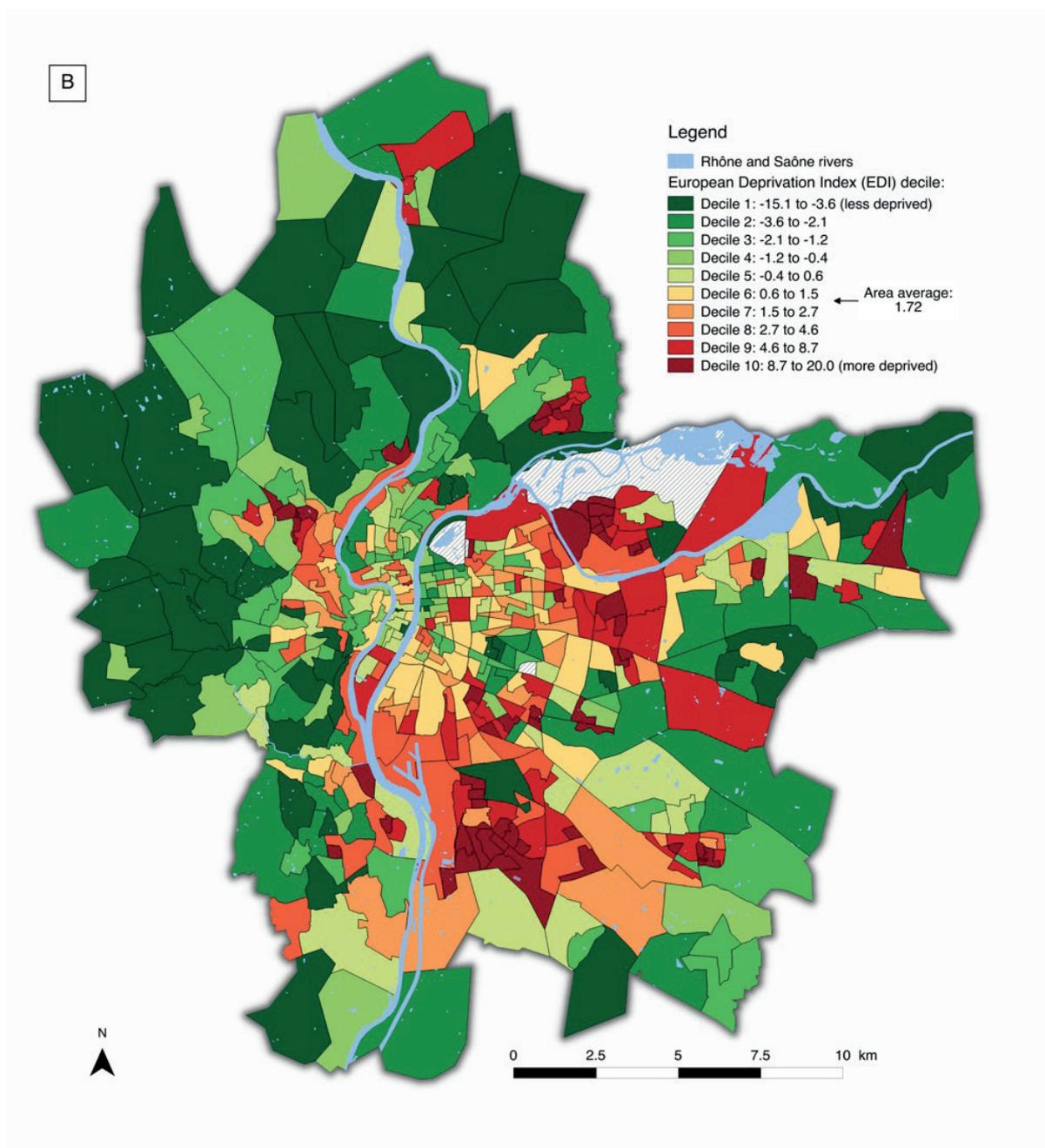


Figure 3.  
Niveau de défaveur sociale (indice EDI) à l'échelle du quartier dans les  
agglomérations de Grenoble (A) et Lyon (B).  
*Spatial distribution of social deprivation (EDI, European Deprivation Index) in  
Grenoble (A) and Lyon (B).*

## Conclusion

Cette étude est parmi les premières à avoir estimé l'impact sanitaire des particules fines en se basant sur une modélisation des expositions, avec une résolution spatiale fine couplée à des données sur la densité de population à la même échelle. De plus, elle propose une estimation du nombre de cas incidents de petits poids de naissance à terme, événement de santé très rarement pris en compte dans les EIS jusqu'à présent. De l'ordre de 3 à 10 % des cas incidents de cancer du poumon (pour Grenoble) et de la mortalité non-accidentelle étaient attribuables à l'exposition à long terme aux particules fines. Le niveau de référence choisi étant la valeur guide de l'Organisation Mondiale de la Santé (soit 10 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle), ces valeurs peuvent s'interpréter comme une estimation du gain du

nombre de cas attribuables aux particules fines qui s'observerait à long terme chaque année si on réussissait à ramener durablement les niveaux de pollution à cette valeur guide, toutes autres choses restant identiques par ailleurs.

Sur le plan méthodologique, les études d'impact sanitaires reposant sur les données des stations de fond seules tendent à sous-estimer le fardeau de maladie de la pollution aux particules fines. L'utilisation de modèles d'exposition à la résolution spatiale fine, en particulier à l'échelle de la rue, et couplée à des données sur la densité de population à la même échelle, apparaît comme une approche faisable et pertinente en zone urbaine.

## Références

- Dadvand P, Parker J, Bell ML *et al.* (2013). Maternal exposure to particulate air pollution and term birth weight: a multi-country evaluation of effect and heterogeneity. *Environmental health perspectives*, n° 121(3), p. 267-373.
- Deguen S, Zmirou-Navier D. (2010). Social inequalities resulting from health risks related to ambient air quality. A European review. *The European Journal of Public Health*, Feb 1, n° 20(1), p. 27-35.
- Hajat A, Hsia C, O'Neill MS. (2015). Socioeconomic Disparities and Air Pollution Exposure: a Global Review. *Curr Environ Health Rep*, Dec, n° 2(4), p. 440-50.
- Hamra GB, Guha N, Cohen A *et al.* (2014). Outdoor particulate matter exposure and lung cancer: a systematic review and meta-analysis. *Environ Health Perspect*. n° 122(9), p. 906-11.
- Nieuwenhuijsen Mark. (2015). *Exposure Assessment in Environmental Epidemiology*. Oxford University Press.
- Padilla CM, Kihal-Talantikite W, Vieira VM *et al.* (2014). Air quality and social deprivation in four French metropolitan areas. A localized spatio-temporal environmental inequality analysis. *Environmental Research*, n° 134, p. 315-324.
- Pedersen M, Giorgis-Allemand L, Bernard C *et al.* (2013). Ambient air pollution and low birthweight: a European cohort study (ESCAPE). *The Lancet Respiratory medicine*, n° 1(9), p. 695-704.
- Pomet C, Delpierre C, Dejardin O *et al.* (2012). Construction of an adaptable European transnational ecological deprivation index: the French version. *J Epidemiol Community Health*, n° 66(11), p. 982-989.
- Raz R, Roberts AL, Lyall K *et al.* (2015). Autism spectrum disorder and particulate matter air pollution before, during, and after pregnancy: a nested case-control analysis within the Nurses' Health Study II Cohort. *Environ Health Perspect*, n° 123(3), p. 264-270.
- Raaschou-Nielsen O, Sørensen M, Ketznel M, *et al.* (2013). Long-term exposure to traffic-related air pollution and diabetes-associated mortality: a cohort study. *Diabetologia*, n° 56(1), p. 36-46.
- Shah PS, Balkhair T. (2011). Knowledge Synthesis Group on Determinants of Preterm/LBW births. Air pollution and birth outcomes: a systematic review. *Environ Int*, n° 37(2), p. 498-516.
- World Health Organization. (2014). WHO Expert Meeting: Methods and tools for assessing the health risks of air pollution local, national and international level. Meeting report. [En ligne]: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2014/who-expert-meeting-methods-and-tools-for-assessing-the-health-risks-of-air-pollution-at-local,-national-and-international-level>
- World Health Organization. (2013). Review of evidence on health aspects of air pollution. REVIHAAP project: final technical report [En ligne]: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/review-of-evidence-on-health-aspects-of-air-pollution-revihaap-project-final-technical-report>