

Santé environnement

**Impacts de l'exposition chronique
aux particules fines sur la mortalité
en France continentale et analyse
des gains en santé de plusieurs
scénarios de réduction
de la pollution atmosphérique**

Sommaire

Abréviations	3
1. Contexte	4
2. Impacts de l'exposition chronique aux particules fines (PM_{2.5}) sur la mortalité	6
2.1 Méthode	6
2.1.1 Choix de la période et de la zone d'étude	7
2.1.2 Choix des risques relatifs et des effets sanitaires étudiés	8
2.1.3 Estimation de l'exposition aux particules fines	10
2.1.4 Données de mortalité et de population	14
2.1.5 Méthode de calcul de l'impact sur la mortalité	14
2.1.6 Méthode de calcul de l'impact sur l'espérance de vie	14
2.1.7 Hypothèses de réduction des concentrations de polluants	15
2.2 Résultats	16
2.2.1 Scénario « sans pollution anthropique »	18
2.2.2 Scénario « communes équivalentes les moins polluées »	21
2.2.3 Scénario « OMS »	23
2.2.4 Scénario « Grenelle »	24
2.2.5 Scénario « Directive européenne »	24
2.3 Analyses de sensibilité	26
2.3.1 Estimation de l'exposition moyenne sur l'unité urbaine	26
2.3.2 Comparaison avec une EQIS utilisant les données de concentrations en PM _{2.5} du GBD	26
2.3.3 Comparaison avec une EQIS utilisant des données mesurées en zones urbaines	28
3. Discussion	29
3.1 Synthèse des principaux résultats	29
3.2 Évaluation des incertitudes	30
3.3 La pollution de l'air pèse sur la santé publique en France	33
3.4 L'amélioration de la qualité de l'air aura également d'autres impacts sur la santé, la qualité de vie et l'environnement	34
3.5 Perspective pour les EQIS	35
Références bibliographiques	36
Annexes	43

Impacts de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité en France continentale et analyse des gains en santé de plusieurs scénarios de réduction de la pollution atmosphérique

Ont participé à cette étude et à la rédaction de ce rapport :

Mathilde Pascal (Santé publique France – Direction santé environnement)

Perrine de Crouy Chanel (Santé publique France - Direction santé environnement)

Magali Corso (Santé publique France - Direction santé environnement)

Sylvia Medina (Santé publique France - Direction santé environnement)

Vérène Wagner (Santé publique France - Direction santé environnement)

Sarah Gorla (Santé publique France - Direction santé environnement)

Pascal Beaudeau (Santé publique France - Direction santé environnement)

Malek Bentayeb (Santé publique France - Direction santé environnement)

Alain Le Tertre (Santé publique France - Direction santé environnement)

Aymeric Ung (Santé publique France - Direction santé environnement)

Edouard Chatignoux (Santé publique France – Département Maladies non transmissibles et traumatismes)

Myriam Blanchard (Santé publique France – Cire Haute-Normandie)

Amandine Cochet (Santé publique France – Cire Languedoc-Roussillon)

Laurence Pascal (Santé publique France – Cire Sud)

Claude Tillier (Santé publique France – Cire Bourgogne Franche-Comté)

Sabine Host (Observatoire régional de santé Île-de-France)

Relecture scientifique :

Philippe Quénel (École des hautes études en santé publique - EHESP)

Remerciements :

Les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (Aasqa) pour leur expertise et leur disponibilité sur le modèle Gazel-Air, en particulier Charlotte Songeur (AirParif), Olivier Sanchez (AirParif), Amandine Rosso (AirParif), Guillaume Brulfert (Air Rhône-Alpes), Isabelle Rios (Air Rhône-Alpes), Éric Chaxel (Air Rhône-Alpes), Jonathan Virga (Air Provence-Alpes-Côte d'Azur - Paca), Alexandre Armengaud (Air Paca), Emanuel Rivière (Association pour la surveillance et l'étude de la pollution atmosphérique - Aspa), Florent Vasbien (Aspa), Raphaëlle Deprost (Aspa), et Philippe Rossello (bureau d'étude GeographR).

Aaron Cohen (Health Effects Institute) et Michael Brauer (Université de Colombie-Britannique) pour le partage des données du Global Burden of Disease.

Gerard Hoek (Université d'Utrecht) et le projet européen Escape (European Study of Cohorts for Air Pollution Effects) pour le partage des résultats individuels des cohortes participantes à Escape.

Les membres du groupe de travail InterCire air et santé : Yvonnick Guillois, Alain Blateau, François Clinard, Gaëlle Gault, Sophie Larrieu, Anne-Hélène Liebert, Christine Meffre, Luce Menudier, Damien Mouly, Bakhao N'Diaye, Jean-Rodrigue N'Dong, Morgane Stempfelet, Emmanuelle Vaissière.

Dans le cadre de l'étude pilote :

Grégoire Falq (Santé publique France), Géraldine Le Nir (Airparif), Pierre Pernot (Airparif), Amandine Rosso (Airparif), Corinne Cabero (Air Languedoc-Roussillon), Fabien Boutonnet (Air Languedoc-Roussillon) et Augustin Colette (Institut national de l'environnement industriel et des risques - Ineris) pour leur participation aux réunions du groupe de travail, la fourniture de données environnementales, et leur expertise sur ces données.

Ce projet avait été débuté en 2012 avec Christophe Declercq (1956-2013), coordonnateur du programme air et santé jusqu'en 2013.

Abréviations

Achia	Air Pollution and Climate Change Health Impact Assessment
Aasqa	Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air
Cafe	Clean Air for Europe
CépiDC	Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès
Circ	Centre international de recherche sur le cancer
Citepa	Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique
Emep	European Monitoring and Evaluation Program
ÉQUIS	Évaluation quantitative d'impact sanitaire
Escape	European Study of Cohorts for Air Pollution Effects
GBD	Global Burden of Disease
InVS	Institut de veille sanitaire devenu Santé publique France en mai 2016
Insee	Institut national de la statistique et des études économiques
NO₂	Dioxyde d'azote
O₃	Ozone
OMS	Organisation mondiale de la santé
PM	Particule fine
PM_{2,5}	Particule fine de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm.
RR	Risque relatif
SMR	Standardized Mortality Ratio (ratio standardisé de mortalité)

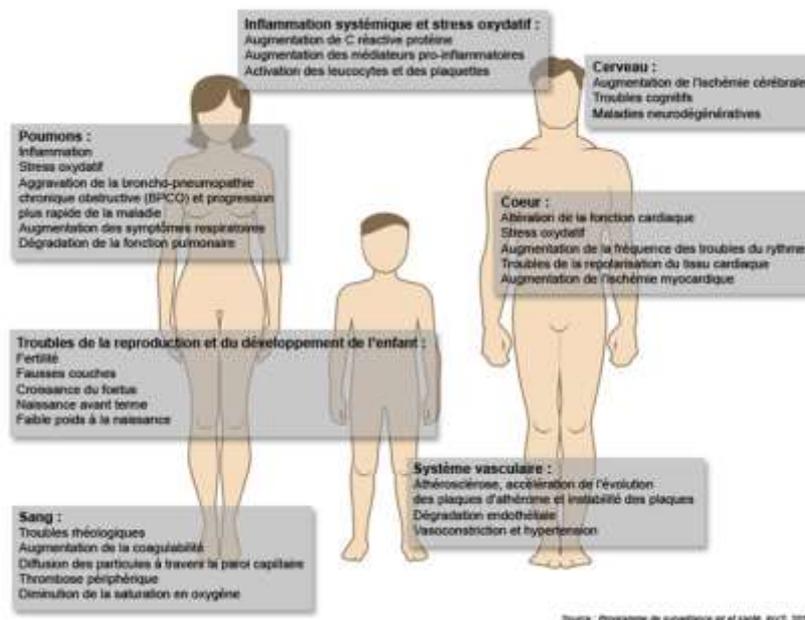
1. Contexte

Au niveau mondial, la pollution de l'air est désormais la première cause environnementale de mort prématurée, devant les problèmes d'hygiène et les problèmes d'approvisionnement en eau potable [1]. L'exposition à des polluants de l'air favorise le développement de pathologies chroniques graves, en particulier des pathologies cardiovasculaires, respiratoires et des cancers. Un nombre croissant d'études pointent également des impacts par exemple sur les troubles de la reproduction, des troubles du développement de l'enfant, des maladies endocriniennes ou encore neurologiques (figure 1).

La contribution de la pollution de l'air au développement de ces pathologies, notamment cardiorespiratoires, et cancers se traduit par une augmentation de la mortalité, une baisse de l'espérance de vie, et un recours accru aux soins. Les impacts des particules fines (PM) sur le recours aux soins et la mortalité sont bien documentés par de nombreuses études épidémiologiques [2-6] et un lien causal entre l'exposition à ces polluants et la mortalité est désormais admis par la communauté scientifique [7;8]. La pollution de l'air est ainsi un facteur de risque environnemental qui a un impact avéré sur la santé, qui touche l'ensemble de la population, pour lequel il n'existe pas de mesures de protection individuelles simples et acceptables, mais dont les niveaux peuvent être baissés par des mesures collectives.

I Figure 1 I

Principaux mécanismes d'action de la pollution de l'air sur la santé.



S'ils sont bien connus des épidémiologistes, les impacts sanitaires de la pollution de l'air restent difficiles à appréhender car les malades et les décès dus à la pollution ne sont pas directement identifiables. La pollution est ainsi qualifiée de « tueur invisible » [9]. Dans une optique d'aide à la décision, les évaluations quantitatives d'impacts sanitaires (EQIS) permettent d'avoir une vision de l'impact sanitaire d'une situation donnée. Elles permettent également de prédire les bénéfices atteignables par rapport à un scénario d'amélioration de la qualité de l'air pour une population donnée. Les EQIS de la pollution atmosphérique estiment les conséquences sanitaires attendues d'une modification des niveaux de la pollution atmosphérique, en utilisant des données environnementales, sanitaires et les résultats d'études épidémiologiques quantifiant la relation entre les variations du polluant et de la mortalité, exprimée par un risque relatif (RR).

La première EQIS de la pollution atmosphérique menée en France au niveau de l'ensemble du territoire s'est faite dans le cadre d'une étude tri-nationale (Autriche-France-Suisse) qui avait estimé

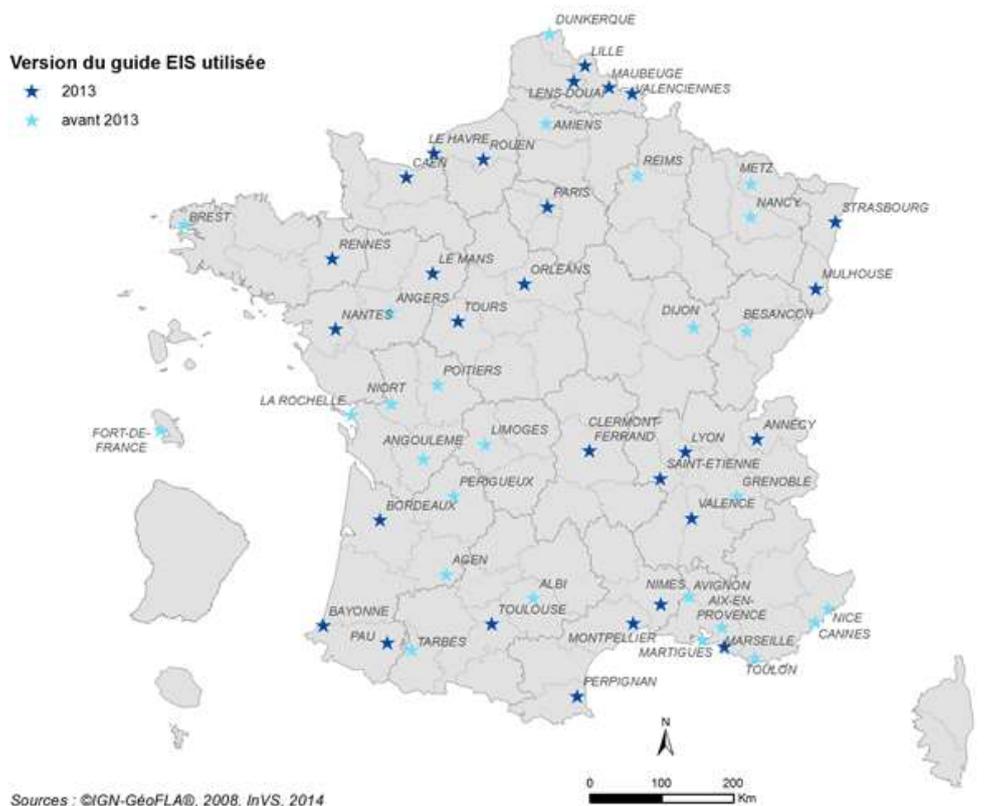
en 1996 que les particules fines d'un diamètre aérodynamique inférieur à $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10}) étaient responsables de près de 32 000 décès chaque année en France [10]. Le programme européen Clean Air for Europe (Cafe) avait pour sa part estimé, en 2000, que les PM d'origine anthropique étaient responsables de 42 000 décès anticipés par an en France [11]. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) et le Global Burden of Disease (GBD)¹, ont, quant à eux, estimé en 2010 que près de 16 900 décès pourraient être évités chaque année en France si les niveaux $\text{PM}_{2.5}$ ne dépassaient pas $10\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ [12].

Dans le cadre du projet européen Aphekom, entre 2004 et 2006, il a été montré dans 9 agglomérations françaises que près de 3 000 décès auraient pu être évités chaque année, avec un gain moyen d'espérance de vie à 30 ans qui variait entre 3,6 mois à Toulouse et 7,5 mois à Marseille, si les niveaux de particules fines d'un diamètre aérodynamique inférieur à $2,5\ \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$) n'avaient pas dépassé $10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ [13].

Entre 1995 et 2014, des EQIS de la pollution atmosphérique ont été réalisées pour 54 des plus grandes agglomérations françaises, regroupant un peu plus de 21 millions d'habitants. Ainsi, depuis 1995, au moins une EQIS a été produite dans toutes les régions de France continentale [14]. Le détail des agglomérations concernées est donné par la figure 2 et dans l'annexe 1.

I Figure 2 I

ÉQIS réalisées dans des agglomérations françaises entre 1999 et 2014



Les ÉQIS utilisant le guide 2013 estiment les impacts à long-terme des $\text{PM}_{2.5}$ sur la mortalité et sur l'espérance de vie en complément des impacts à court-terme. Les EQIS utilisant des versions du guide antérieures à 2013 n'étudiaient que les impacts à court-terme de la pollution.

¹ Les données françaises du GBD peuvent être extraites du site <http://www.healthdata.org/gbd/data>.

Toutes ces EQIS ont utilisé des données, des périodes, des zones d'études et des scénarios différents. Leurs résultats soulignent le poids que la pollution de l'air fait peser sur la santé en France.

Parmi les éléments clefs d'une EQIS, figurent les choix des RR liant le polluant à l'effet sanitaire étudié, le scénario de l'EQIS, et les méthodes d'estimation de l'exposition. L'estimation de l'exposition peut se faire, entre autres, *via* des mesures, des modèles géostatistiques, des modèles de chimie atmosphérique et de transport, ou une combinaison de ces deux types de modèles. Idéalement, la méthode d'estimation des expositions dans l'EQIS devrait être la même que celle utilisée dans l'étude épidémiologique produisant le RR sélectionné pour l'EQIS.

Toutes les études mentionnées précédemment (internationales et villes) ont utilisé des RR issus d'études nord-américaines pour évaluer les impacts d'une exposition chronique aux particules fines. En effet, jusqu'à une période récente, les études de cohortes fournissant ces RR étaient conduites principalement sur des populations nord-américaines. Le projet européen Escape et le projet français Gazel-Air ont produit respectivement en 2013 et 2015 des RR quantifiant l'impact à long terme des PM_{2.5} sur la mortalité des populations européennes et françaises, qu'il est possible et pertinent d'utiliser pour les EQIS menées en France.

Concernant l'exposition, les EQIS réalisées dans les agglomérations, en France et dans le cadre du projet Aphekom, utilisent toutes des données issues de stations de mesures. L'étude tri-nationale, les estimations de l'OMS et de Cafe s'appuient quant à elles sur des modèles de chimie-transport couplés selon l'étude à des mesures par télédétection ou par stations, et utilisant des mailles variant de 4 à 50 km de côté selon le modèle. En effet, en France, la surveillance de la qualité de l'air, assurée par les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (Aasqa), doit être réalisée dans les agglomérations de plus de 100 000 habitants depuis 1996 (article L221-2 du code de l'environnement). En dehors de ces agglomérations où des stations de mesure existent, l'exposition à la pollution de l'air ne peut être estimée que par des modèles de chimie atmosphérique. Les modèles les plus récents fournissent des données sur des mailles variant de 10 km à quelques dizaines de mètres, selon la nature et la zone d'étude du modèle. L'un de ces modèles a notamment été développé par les Aasqa, spécifiquement pour l'étude des impacts à long terme de la pollution de l'air en France à partir de la cohorte Gazel-Air.

Ainsi, depuis la première étude estimant l'impact sanitaire de la pollution de l'air en France, on dispose de nouvelles estimations de RR mieux adaptées aux populations européennes et françaises, et de données environnementales cohérentes pour l'ensemble du territoire métropolitain.

Cette étude exploite ces nouvelles données afin d'évaluer l'impact de l'exposition chronique aux particules fines (PM_{2.5}) sur la mortalité pour la France continentale. Elle répond à plusieurs objectifs :

- établir une estimation France entière du poids à long terme de la pollution de l'air sur la mortalité, à partir d'une estimation de l'exposition à une échelle géographique fine, et en utilisant des RR adaptées à la population française ;
- mettre à jour les estimations antérieures portant sur des agglomérations ou basées sur des résultats issus d'études internationales pour la France ;
- étudier les variations régionales de la pollution de l'air et de son impact ;
- apporter une information sur l'impact de la pollution atmosphérique dans les zones non couvertes par les stations de mesures opérées dans le cadre de la surveillance réglementaire de la qualité de l'air.

2. Impacts de l'exposition chronique aux particules fines (PM_{2.5}) sur la mortalité

2.1. Méthode

La méthode mise en œuvre correspond à une extension de la méthode recommandée par l'Institut de veille sanitaire (InVS) pour réaliser une EQIS de la pollution atmosphérique à l'échelle d'une agglomération [15]. L'approche dite contrefactuelle a été utilisée. Elle permet d'estimer l'impact

sanitaire attendu d'une baisse de la pollution atmosphérique, toutes choses égales par ailleurs, sans prendre en compte de délais entre la baisse de la pollution et l'apparition des bénéfices sanitaires, et sans considérer d'évolution au sein de la population (structure démographique par exemple). La causalité est admise par la communauté scientifique internationale entre l'exposition aux PM d'une part, et la morbidité et la mortalité d'autre part. Cela signifie que sur une zone d'étude donnée, pour une période donnée, les niveaux de ces polluants contribuent à la morbi-mortalité enregistrée. Si les concentrations de ces polluants baissent, le nombre des événements sanitaires étudiés dans l'EQIS, par exemple, le nombre de décès, diminue également et, comme la log-linéarité de la relation entre les concentrations et la mortalité est aussi admise, de manière proportionnelle. Cette approche donne donc une idée du poids de la pollution atmosphérique à un moment donné et permet de comparer les bénéfices sanitaires et économiques attendus pour différents scénarii de réduction des niveaux de polluants. Elle a été utilisée par exemple dans les EQIS citées précédemment [11-15]. La réalisation pratique d'une EQIS de la pollution atmosphérique comprend plusieurs étapes interdépendantes (figure 3). À chaque étape, on cherche à obtenir la plus grande adéquation possible entre les données utilisées pour l'EQIS (population, indicateurs environnementaux, indicateurs sanitaires) et celles utilisées dans les études épidémiologiques ayant permis d'estimer les RR utilisés.

Une étude pilote, détaillée en annexe 2, a été menée au préalable sur deux régions sélectionnées pour leurs contrastes en termes de sources de pollution, de géographie, de démographie, et de disponibilités des données environnementales. Les objectifs de l'étude pilote étaient de vérifier la possibilité de transposer la méthode d'EQIS développée pour une agglomération à une échelle communale, de recenser et de comparer les sources de données environnementales disponibles afin d'en sélectionner une pour l'analyse France entière. La faisabilité de l'EQIS a ainsi pu être vérifiée, et le modèle Gazel-Air a été sélectionné.

I Figure 3 I

Étapes d'une EQIS



2.1.1. Choix de la période et de la zone d'étude

Période d'étude

La réalisation d'une étude nécessite idéalement 2 ou 3 années de données, en évitant les années atypiques, en particulier du point de vue météorologique et atmosphérique.

Dans le cadre de l'étude Gazel-Air, le modèle a fourni des estimations annuelles de concentrations pour la période 1989-2008. Pour la réalisation de l'EQIS, les deux années les plus récentes ont été sélectionnées, i.e. la période 2007-2008. L'EQIS n'a pas été conduite sur trois ans, 2006 étant une année atypique avec une vague de chaleur impactant plusieurs régions [16].

Zone d'étude

L'étude porte sur la France continentale, qui correspond au domaine de modélisation de Gazel-Air.

L'échelle initiale de travail est la commune. Le référentiel des communes étant, à l'échelle de la France continentale, assez instable d'une année sur l'autre, la liste des communes définie par le code géographique de l'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee) 2008 a été utilisée moyennant quelques ajustements nécessités par des modifications intervenues en 2009, afin de conserver une cohérence avec le recensement de la population de 2009. Pour chaque commune, un indicateur s'appuyant sur l'effectif de la population combinée à la densité de la population et du bâti pour définir le caractère urbain d'un territoire a été recueilli auprès de l'Insee. Cet indicateur a permis de classer les communes en distinguant :

- les communes rurales (moins de 2 000 habitants) ;
- les communes appartenant à des unités urbaines² de 2 000 à 20 000 habitants ;
- les communes appartenant à des unités urbaines de 20 000 à 100 000 habitants ;
- les communes appartenant à des unités urbaines de plus de 100 000 habitants.

L'étude a ainsi porté sur 36 219 communes, dont 29 008 communes rurales, et 7 211 communes appartenant à des unités urbaines.

2.1.2. Choix des risques relatifs et des effets sanitaires étudiés

Les effets sanitaires ont été sélectionnés sur la base des études disponibles, en s'appuyant sur les travaux les plus récents. Trois publications synthétisant différents résultats épidémiologiques internationaux, et les publications associées à deux études de cohortes ont été plus particulièrement examinées :

- publications de synthèse :
 - o synthèse réalisée par l'OMS dans le cadre du projet européen Hrapie, recommandant des RR pour les analyses coûts-bénéfices des PM, de l'ozone et du NO₂ [17]. Dans cette synthèse, des experts internationaux ont classé les couples polluants – effets sanitaires en deux groupes offrant une appréciation qualitative des incertitudes associées aux EQIS :
 - groupe A : couple polluant-effet sanitaire pour lequel les connaissances scientifiques sont suffisantes pour permettre une quantification fiable de l'impact sanitaire ;
 - groupe B : couple polluant-effet sanitaire pour lequel il y a une incertitude importante sur les RR utilisés pour quantifier l'impact sanitaire, mais qui peut cependant être utilisé en l'absence de données du groupe A, ou comme analyse de sensibilité.
 - o conclusions d'un atelier de l'OMS de mai 2014 sur les méthodes et outils pour réaliser des EQIS [18] ;
 - o méta-analyse internationale sur les impacts de la pollution sur la mortalité toutes causes et cardiorespiratoire, reprenant les études publiées jusqu'en janvier 2013 [6]. Cette étude a été mise à jour lors de l'atelier de l'OMS précédemment cité.
- études de cohorte :
 - o étude de cohortes européennes Escape (European Study of Cohorts for Air Pollution Effects), qui inclut 22 cohortes pour l'analyse des impacts de la pollution sur la mortalité totale [5] et cardiovasculaire [19] ainsi que 17 cohortes pour l'analyse des impacts sur la mortalité par cancer du poumon [20] ;

² Une unité urbaine est un ensemble de communes qui comporte sur son territoire une zone bâtie d'au moins 2 000 habitants et où aucune habitation n'est séparée de la plus proche de plus de 200 mètres. En outre, chaque commune concernée doit comporter plus de la moitié de sa population dans cette zone bâtie.

- résultats de la cohorte française Gazel-Air produits par l'InVS qui ont l'avantage de porter sur une population française. Bien que spécifiques (travailleurs actifs et retraités d'une grande entreprise), les résultats présentent l'intérêt d'être issus des mêmes données d'exposition que celles utilisées pour l'EQIS.

Selon l'OMS [17], l'étude de l'impact des PM_{2.5} sur la mortalité toutes causes doit être privilégiée dans les EQIS, le couple PM_{2.5}/mortalité étant classée groupe A. L'OMS recommande aussi l'utilisation du RR de la méta-analyse internationale de Hoek *et al.* : 1,06 [1,04 :1,08] pour une augmentation de 10 µg.m⁻³ des niveaux de PM_{2.5} [6]. Cette méta-analyse inclut 17 cohortes portant sur des populations principalement nord-américaines et européennes. Les méthodes utilisées pour caractériser les expositions variaient de manière importante selon la cohorte, utilisant des données observées ou modélisées. Les concentrations annuelles de PM_{2.5} variaient en moyenne de 4 à 28 µg/m³ selon la cohorte. Les résultats des études incluses dans cette méta-analyse sont résumés dans le tableau 1.

Le RR issu de cette méta-analyse est très proche de celui retrouvé pour la population états-unienne par l'American Cancer Society (1,06 [1,02 :1,11] [3]) qui a fait référence jusqu'à récemment. A la demande de l'OMS, la méta-analyse de Hoek *et al.* a été mise à jour en 2014 pour inclure les résultats d'Escape et de deux autres études publiées depuis 2013. Les nouveaux résultats demeurent proches de l'analyse initiale (RR de 1,07 [1,04 :1,09] pour une augmentation de 10 µg.m⁻³ de PM_{2.5} [18]). Le projet européen Escape, qui regroupe 22 cohortes européennes, retrouve un RR plus élevé (1,14 [1,04 :1,27] pour une augmentation de 10 µg.m⁻³ de PM_{2.5} [5]). La population d'étude d'Escape rassemblait au total 367 251 participants, suivis pendant en moyenne 14 ans. Les participants aux cohortes incluses dans Escape étaient majoritairement situées dans des zones urbaines, mais certaines cohortes incluait des zones rurales proches des villes, sans donner toutefois le nombre de participants correspondants [5]. L'exposition à la pollution était estimée pour toutes les cohortes par des modèles de type *Land Use Regression* [21]. Il s'agit de modèles statistiques prédisant les concentrations à l'adresse des participants à partir des concentrations observées par les stations de mesures et de données d'occupation des sols, de population, d'intensité du trafic, etc. Les concentrations moyennes de PM_{2.5} aux adresses des participants variaient de 6 à 31 µg.m⁻³ selon la cohorte. Le minimum était observé dans la cohorte suédoise SDPP et le maximum dans la cohorte italienne SIDRIA-Turin. La concentration moyenne à l'adresse des participants de la cohorte française E3N était de 15 µg.m⁻³ [5].

Le RR estimé par Escape est très proche de celui obtenu pour la population incluse dans l'étude Gazel-Air (1,15 [0,98 :1,35] pour une augmentation de 10 µg/m³ de PM_{2.5} [22]). La cohorte Gazel-Air rassemblait 20 327 participants. Près de 19 % des participants dont l'adresse a été renseignée³ habitaient en zone rurale, 19% dans des unités urbaines de 2 000 à 20 000 habitants, 17% dans des unités urbaines de 20 000 à 100 000 habitants, et 45% dans des unités urbaines de plus de 100 000 habitants. L'exposition annuelle à la pollution de l'air entre 1989 et 2008 a été quantifiée à partir du modèle Gazel-Air [23]. Les concentrations annuelles moyennes de PM_{2.5} au code postal des participants de la cohorte variaient de 4 à 29 µg.m⁻³ en 1989, et de 2 à 21 µg.m⁻³ en 2008.

Les résultats d'Escape et de Gazel-Air portant sur des populations européennes et françaises ont été jugés plus adaptés à une EQIS pour la population française que le méta-risque international recommandé par l'OMS. Le RR d'Escape a l'avantage d'être issu d'une méta-analyse avec une puissance statistique importante. Le RR de Gazel-Air a l'avantage d'être calculé pour la population résidant en France continentale. Par ailleurs, les données environnementales pouvant être utilisées dans l'étude Gazel-Air sont disponibles pour toutes les communes de France continentale et peuvent être utilisées pour une EQIS, assurant ainsi une cohérence maximale entre les données environnementales de l'étude épidémiologique fournissant le RR et l'EQIS.

Nous avons donc choisi de combiner les informations fournies par les études de cohortes Escape et Gazel-Air en réalisant une méta-analyse des résultats des cohortes incluses dans Escape et de la cohorte Gazel-Air (RR liant PM_{2.5} et mortalité toutes causes chez les 30 ans et plus). À partir du méta-risque obtenu, nous avons dérivé un estimateur recentré (« shrunken estimate ») pour Gazel-Air à partir du méta-risque obtenu, selon une méthode précédemment utilisée pour des EQIS européennes [24]. En l'absence d'hétérogénéité entre les résultats observés dans chaque cohorte, le méta-risque et l'estimateur recentré pour Gazel-Air étaient identiques. Le RR correspondant de 1,15 [1,05 :1,25] pour une augmentation de 10 µg/m³ de PM_{2.5}, a donc été retenu, et est par la suite noté

³ Dans la cohorte Gazel-Air, l'adresse complète était renseignée pour 54 % des participants. Pour les autres, seul le code postal était disponible.

« RR Escape/Gazel-Air ». On peut noter que des RR proches ont par ailleurs été retrouvés dans certaines études nord-américaines (tableau 1).

I Tableau 1 I

Association entre PM_{2.5} et mortalité dans les études de cohortes (RR pour une augmentation de 10 µg/m³)

Référence	Pays	RR pour 10 µg/m ³ de PM _{2.5}
Puett <i>et al.</i> 2011 [25]	États-Unis	0,86 [0.72 :1.02]
Lipsett <i>et al.</i> 2011 [26]	États-Unis	1,01 [0.94 :1.08]
Ostro <i>et al.</i> 2010 [27]	États-Unis	1,04 [1.03 :1.06]
Pope <i>et al.</i> 2002 [3]	États-Unis	1,06 [1.02 :1.11]
Crouse <i>et al.</i> 2012 [28]	Canada	1,1 [1.05 :1.15]
Hart <i>et al.</i> 2011 [29]	États-Unis	1,1 [1.02 :1.18]
Lepeule <i>et al.</i> 2012 [30]	États-Unis	1,14 [1.07 :1.22]
Jerrett <i>et al.</i> 2005 [31]	États-Unis	1,17 [1.05 :1.3]
Puett <i>et al.</i> 2009 [32]	États-Unis	1,26 [1.03 :1.55]
Cesaroni <i>et al.</i> 2013 [33]	Italie	1,04 [1.03 :1.05]
Beelen <i>et al.</i> 2008 [34]	Pays-Bas	1,06 [0.97 :1.16]
Beelen <i>et al.</i> 2014 [5]	Europe (Escape)	1,14 [1.04 :1.27]
Bentayeb <i>et al.</i> 2015 [22]	France (Gazel-Air)	1,15 [0.98 :1.35]
<hr/>		
Méta-analyse internationale Hoek <i>et al.</i> 2013 *[6]		1,06 [1,04 :1,08]
Méta-analyse internationale mise à jour ** [18]		1,07 [1,04 :1,09]
Méta-analyse Escape/Gazel-Air		1,15 [1,05 :1,25]

* Incluant toutes les études du tableau sauf Escape et Gazel-Air.

** Incluant toutes les études du tableau sauf Gazel-Air.

Les études Escape et Gazel-Air portaient sur des concentrations moyennes annuelles variant de 4 à 30 µg/m³. Sur cette gamme de concentrations, ces études retrouvent des relations log-linéaires sans seuil entre PM_{2.5} et mortalité. Nous avons fait l'hypothèse que la relation demeurerait log-linéaire aux concentrations plus faibles ou plus élevées. Il est cependant possible que la pente soit plus forte pour les concentrations très basses, et les données actuelles disponibles ne permettent pas de penser qu'il existerait une concentration en-deçà de laquelle aucun effet ne serait observé [35].

De manière stricte, les EQIS de la pollution atmosphérique devraient être réalisées pour des communes majoritairement urbaines car les études épidémiologiques dont sont issus les RR portent surtout sur des populations urbaines. Toutefois, certaines cohortes, en particulier Gazel-Air, incluent des participants résidant dans des communes rurales. En l'absence de RR portant sur des communes majoritairement rurales, nous avons décidé d'appliquer les RR disponibles dans toutes les communes, y compris les communes rurales. Ce choix permet d'évaluer l'impact de la pollution sur l'ensemble du territoire. Il n'est cependant pas possible de savoir si le RR est sous ou surestimé pour les communes rurales.

2.1.3. Estimation de l'exposition aux particules fines

Dans le cadre de l'étude pilote, trois modèles fournissant des données d'exposition avaient été examinés : Prev'air (modèle national, maille 10 km), le modèle Gazel-Air (modèle national, maille 2 km), Airparif (modèle régional, maille 50 et 25 m). C'est le modèle Gazel-Air qui a finalement été retenu pour l'étude finale, sur la base de deux arguments :

- ce modèle est disponible pour toutes les régions françaises et la méthode d'estimation de l'exposition est donc la même pour tout le territoire ;
- ce modèle a été utilisé pour définir l'exposition dans l'étude de cohorte Gazel-Air. L'application d'un RR issu de l'analyse de la cohorte Gazel-Air aux données du modèle Gazel-Air permet la

plus grande cohérence possible entre l'estimation de l'exposition dans l'EQIS et l'étude épidémiologique source, ce qui limite les incertitudes.

Le modèle Gazel-Air

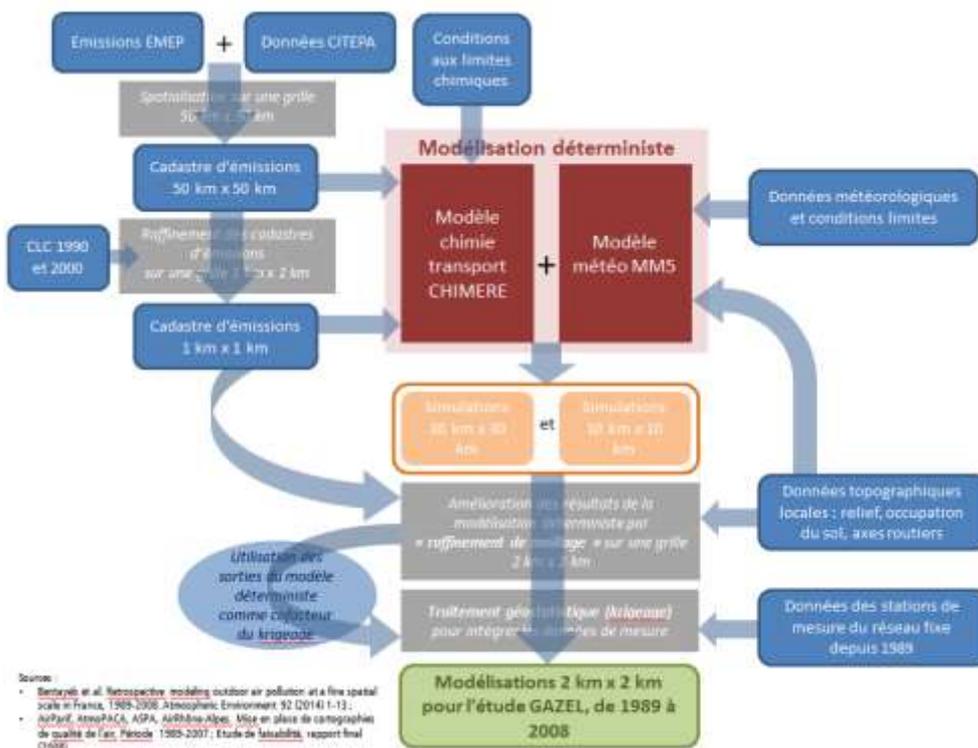
Le modèle Gazel-Air a été développé par les Aasqa entre 2010 et 2012 dans le cadre d'un exercice de reconstruction des expositions à la pollution pour l'étude des effets à long-terme de ces expositions chez les participants de la cohorte Gazel-Air [23;36]. L'objectif de ce travail était d'estimer l'exposition annuelle moyenne à divers polluants dont PM₁₀ et les PM_{2.5} en France continentale. Plusieurs sources d'informations ont été exploitées pour estimer des concentrations sur une maille de 2X2 km à partir de mesures de polluants, de données d'émissions ponctuelles et diffuses (axes routiers...), de modèle déterministes de transports, de dispersion et de chimie atmosphérique et de modèles géostatistiques.

Le modèle s'appuie ainsi sur le modèle de chimie-transport explicite Chimere [37;38], dont les résultats sont disponibles sur une maille de 30 km sur l'Europe, et de 10 km sur la France. Les données font ensuite l'objet d'un traitement statistique (raffinement de maillage et krigeage) pour fournir une grille finale à 2 km. Le passage par cette grille de 2 km permet ensuite de donner une estimation de la concentration au code postal ou à la commune.

Un effort particulier a été fait pour reconstruire les émissions de polluants de la manière la plus cohérente possible sur la période 1989-2008. Le travail s'est en particulier appuyé sur le registre européen European Monitoring and Evaluation Programme ([Emep](#)) qui fournit les moyennes annuelles de 10 polluants d'origine anthropique sur une grille de 50 km pour la période 2000-2007, complété par des données du Citepa (Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique et des données d'occupation des sols). Les principaux points fixes sources de pollution ont également été pris en compte dans le modèle, ainsi que les émissions des principaux axes routiers pour 1992, 1994, 1997, 2001, 2004 et 2007. Enfin, le modèle prend en compte les émissions biogéniques (figure 4).

I Figure 4 I

Démarche utilisée dans le modèle Gazel-Air [36]



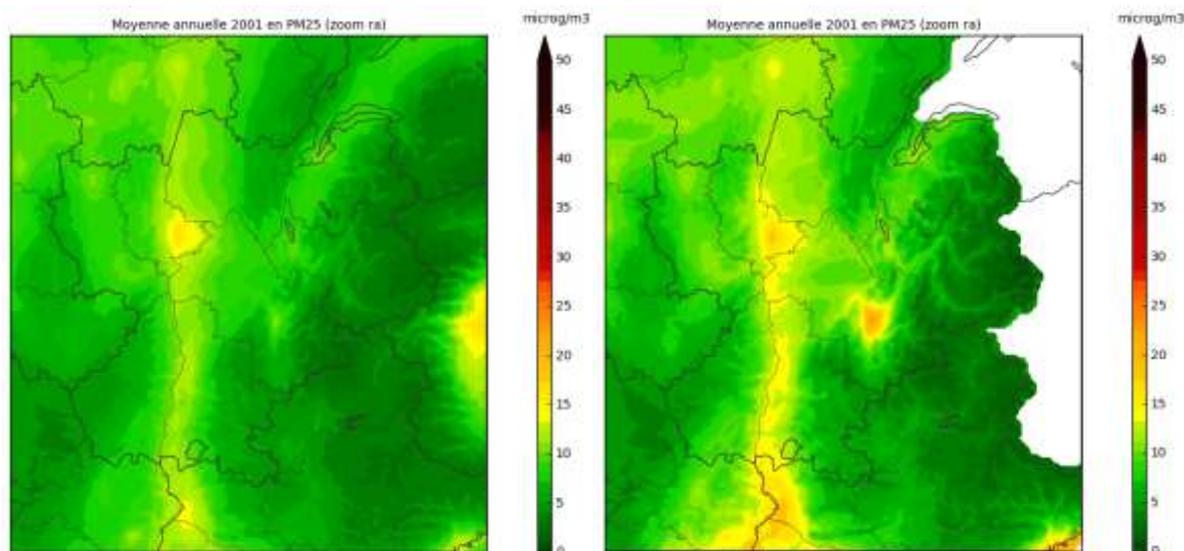
Les données modélisées ont été calées sur les données mesurées par les stations des Aasqa. Ce calage est cependant limité par la faible couverture du territoire en stations de mesures (principalement situées dans les agglomérations), en particulier pour les $PM_{2.5}$ [36;39].

Les étapes de descente d'échelle et d'assimilation des données mesurées permettent d'affiner localement la modélisation, ainsi qu'illustré par la figure 5.

Sur 1989-2008 l'étude de comparaison entre les données modélisées (avec descente d'échelle et assimilation des mesures) et les données observées montre des corrélations supérieures à 0,75 pour les PM_{10} , mais de seulement 0,42 pour les $PM_{2.5}$ [23]. De plus, l'intégration de la fraction volatile dans la mesure des PM depuis janvier 2007 a conduit à une augmentation des niveaux mesurés en particules, ce qui se traduit par une augmentation du biais absolu du modèle Gazel-Air par rapport aux mesures. Pour les $PM_{2.5}$, le biais moyen 2007-2008 était de $-1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [36]. Le modèle Gazel-Air tend ainsi à estimer des concentrations de $PM_{2.5}$ plus faibles que celles mesurées par les stations. La présence de ce biais justifie le bien-fondé de la recherche d'homogénéité entre la mesure d'exposition utilisée dans les études épidémiologiques et dans l'EQIS. En l'occurrence, dans le calcul de l'impact, le biais sur l'exposition est *a priori* partiellement compensé par la prise en compte du RR issu de l'étude Gazel-Air.

I Figure 5 I

Concentrations brutes de particules en suspension ($PM_{2.5}$) après raffinement de maillage (à gauche) et en intégrant les données assimilées (à droite) pour 2007 en Rhône-Alpes [36]



Les résultats du modèle Gazel-Air ont été plus finement comparés à d'autres sources de données en Ile-de-France, Alsace, Rhône-Alpes et Provence-Alpes-Côte d'Azur - Paca [36]. Dans ces régions, la comparaison des résultats du modèle aux mesures locales de tout type ou aux données estimées par d'autres modèles pour les années 1990, 1997, 2001 et 2007, permet d'apprécier les performances de Gazel-Air. Cette analyse est cependant limitée pour les $PM_{2.5}$ par manque de données. Pour les PM_{10} , les résultats sont globalement satisfaisants, avec des ordres de grandeur des concentrations modélisées et une distribution géographique cohérente avec les mesures et modèles développés localement. En Rhône-Alpes, on note des différences entre les données mesurées, les données modélisées avec une résolution fine *via* le modèle régional PrevAlp et les données modélisées par Gazel-Air. Ceci illustre les limites du modèle Gazel-Air en secteur montagneux, l'échelle spatiale utilisée ne permettant pas une bonne représentation des fonds de vallée.

L'incertitude globale intrinsèque au modèle est appréciée par deux indicateurs : 1) la différence entre la valeur modélisée et la valeur mesurée au niveau des stations de mesure, 2) la variance de krigeage. Ces deux indicateurs sont complémentaires. De manière qualitative, dans les zones où il y a beaucoup de stations de mesure, et lorsque la variance de krigeage est peu élevée on peut conclure que l'incertitude est faible. Dans les zones où il y a peu de stations de mesures, une variance de

krigeage plus élevée n'implique pas forcément une incertitude élevée. En effet, il y a plus de stations en zones urbaines qu'en zones rurales en raison de la forte densité de population et d'une réglementation centrée sur les agglomérations de plus de 100 000 habitants. En zones rurales, la qualité de l'air peut cependant être bien appréhendée avec un nombre limité de stations, en raison de niveaux plus stables et d'une variabilité moins importante. Enfin, certaines zones urbaines ou périurbaines pourtant bien représentées par la mesure peuvent avoir une incertitude plus importante en raison d'une variabilité des niveaux plus importante.

Estimation des expositions à la commune

À partir des données Gazel-Air disponibles sur la grille de 2x2 km, les concentrations annuelles de PM_{2,5} (année entière) ont été estimées dans chaque commune en pondérant par les surfaces recouvertes par les mailles du modèle. Lorsqu'une commune est entièrement incluse dans une maille de la grille, la concentration estimée pour cette commune est celle de la maille, mais si une commune se situe à l'intersection de plusieurs mailles, la concentration est estimée par une moyenne pondérée par la surface de chaque maille du modèle recoupant le territoire de la commune.

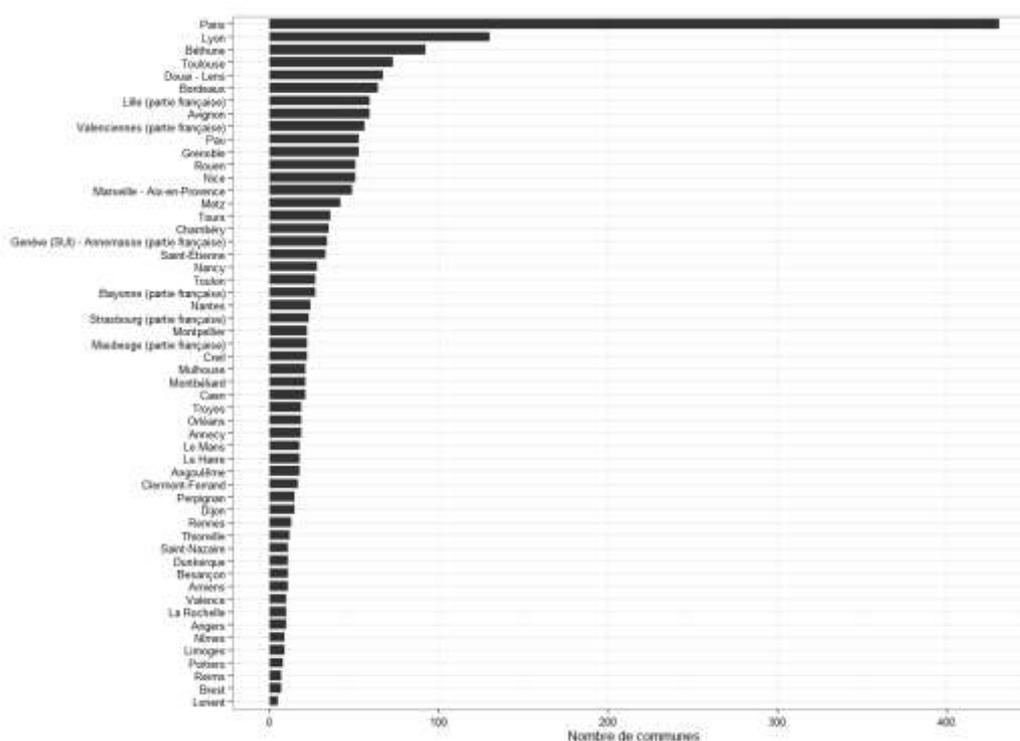
Cette méthode est acceptable dans l'optique de l'EQIS, la taille de la maille du modèle étant proche de la taille moyenne des communes de France. Nous avons en effet fait l'hypothèse que l'exposition de la population d'une commune pouvait être approchée par la concentration de PM_{2,5} modélisée pour cette commune.

Nous avons ainsi utilisé l'estimation de l'exposition à la commune pour calculer l'impact sanitaire, y compris lorsque cette commune appartenait à une unité urbaine composée de plusieurs communes.

Une autre approche aurait pu être de considérer que la population résidant dans une unité urbaine était exposée à la pollution des différentes communes constituant l'unité urbaine, compte-tenu des déplacements *a priori* fréquents au sein de l'unité urbaine. Sous cette hypothèse, la meilleure manière d'estimer l'exposition est de moyenniser les concentrations observées sur l'ensemble des communes constituant chaque unité urbaine. Cette alternative a été utilisée en analyse de sensibilité pour les 1 176 unités urbaines de plus d'une commune (en moyenne 5, et jusqu'à 431 à Paris) (figure 6).

I Figure 6 I

Nombre de communes composant les unités urbaines de plus de 100 000 habitants



Données alternatives d'exposition aux PM2.5

Des estimations alternatives de concentration en PM_{2.5} ont été recherchées et utilisées dans le cadre d'une étude de sensibilité. Le GBD et l'OMS ont utilisé une combinaison de résultats de modèle, de mesures, et d'observations par satellites pour estimer les concentrations de l'ensemble des PM sur une maille de 11x11 km [40]. Nous avons obtenu les données de PM_{2.5} utilisées par le GBD sur la France pour 2005 et 2010. À partir de ces données, nous avons estimé les données à la commune : après rééchantillonnage bilinéaire à 2 km des données maillées à 11 km, nous avons utilisé la méthode de la moyenne pondérée par la surface de commune incluse dans les mailles de la grille pour ramener ces données à l'échelle de la commune.

Afin de mener des analyses de sensibilité, nous avons également obtenu les données de PM₁₀ et de PM_{2.5} mesurées par les stations urbaines de 22 villes pour la période 2007-2008. Dans plusieurs de ces villes, les concentrations de PM_{2.5} n'étant pas disponibles, elles ont été estimées *via* les PM₁₀, selon une méthode classiquement utilisée dans les précédentes EQIS en France et en Europe (PM_{2.5}=0,7xPM₁₀) [41].

2.1.4. Données de mortalité et de population

Les données de mortalité toutes causes et par âge pour les personnes âgées de 30 ans et plus ont été obtenues pour chaque commune auprès du Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès (CépiDC) pour la période 2007-2008.

Les données de population ont été obtenues auprès de l'Insee pour la période 2007-2008.

2.1.5. Méthode de calcul de l'impact sur la mortalité

Comme indiqué précédemment, la relation PM_{2.5}-mortalité retrouvée aux concentrations observées en Europe est log-linéaire sans seuil. Dans ce cas, la baisse du nombre de cas Δy associée à une baisse des niveaux de pollution Δx se calcule à partir de l'équation :

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

Où y_0 est le nombre de cas observés dans la population au niveau actuel de pollution x_{obs} .

β est la pente de la relation polluant- logarithme de la mortalité. Pour un RR exprimé pour une augmentation de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de polluant, $\beta = \ln(\text{RR})/10$.

Δx représente la baisse 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 observée étant déjà en dessous de la valeur cible, il n'y a pas de bénéfices sanitaires à atteindre la valeur cible.

Δy représente l'écart entre le nombre de décès observés aujourd'hui y_{obs} , et le nombre de décès attendus au niveau de pollution du scénario y_{sc} .

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

Lorsqu'aucun décès n'est enregistré dans une commune pendant la période d'étude, ou lorsque les concentrations estimées dans la commune sont inférieures à la concentration hypothétique du scénario, le résultat de l'EQIS est nul dans cette commune.

Ce calcul est réalisé pour chaque commune puis les résultats sont agrégés pour obtenir des estimations départementales, régionales et nationales.

2.1.6. Méthode de calcul de l'impact sur l'espérance de vie

L'impact des PM_{2.5} sur la mortalité toutes causes peut également s'exprimer en espérance de vie. Le principe est le même que pour le calcul de la mortalité. Au niveau de pollution observé aujourd'hui, une probabilité de décéder est calculable par classe d'âges (ici de 5 ans). Si la pollution baissait de Δx , cette probabilité de décès serait également diminuée d'un facteur $e^{-\beta \Delta x}$. À partir de ces probabilités par classe d'âges, il est possible de calculer l'espérance de vie moyenne à 30 ans. Le gain en espérance de vie à 30 ans est calculé comme la différence entre l'espérance de vie à 30 ans obtenue à partir des données observées, et celle obtenue à partir des données attendues sous la baisse de la pollution envisagée.

Le nombre total d'années de vie gagnées correspondant est calculé comme le produit du gain en espérance de vie à 30 ans par le nombre de personnes de 30 ans concernées.

Le détail des équations est présenté en annexe 3.

Le calcul de l'espérance de vie nécessite donc de disposer de données de mortalité et de population par classe d'âges de 5 ans. Des décès sont enregistrés dans chacune des classes d'âges dans les communes les plus peuplées. Cependant, la majorité des communes françaises ne sont pas suffisamment peuplées pour pouvoir observer, sur une période de deux ans (2007-2008), des habitants et des décès appartenant à l'ensemble des dans toutes les classes d'âges. Des regroupements ont donc été nécessaires. Pour les communes ayant une table de mortalité, on a ainsi appliqué la table de mortalité de la commune. Pour les communes n'ayant pas de table de mortalité, on a regroupé les tables de mortalité de l'ensemble des communes du département appartenant à la même « classe d'urbanisation ».

Comme pour la mortalité, les calculs sont réalisés pour chaque commune puis les résultats sont agrégés pour obtenir des estimations départementales, régionales et nationales.

2.1.7. Hypothèses de réduction des concentrations de polluants

Plusieurs EQIS ont été réalisées dans le cadre de ce travail, en considérant des hypothèses alternatives de réduction des niveaux de la pollution.

La première EQIS vise à estimer le poids « absolu » de la pollution liée aux activités anthropiques en termes de mortalité. Cette EQIS, appelée « sans pollution anthropique », évalue le nombre de décès évités chaque année si toutes les communes françaises atteignaient les niveaux de $PM_{2.5}$ observés dans les communes françaises les moins polluées. Après examen des niveaux de $PM_{2.5}$ dans les différentes communes (voir ci-après), le seuil a été fixé au percentile 5 de la distribution des concentrations des $PM_{2.5}$ dans les communes rurales françaises. Ce scénario donne une estimation du poids total de la pollution en France continentale.

La deuxième EQIS prend en compte un scénario prospectif relevant d'un choix politique et normatif dans lequel les communes les moins polluées de chaque classe d'urbanisation sont prises en référence. Cette EQIS, appelée « communes équivalentes les moins polluées », évalue le nombre de décès évités chaque année si toutes les communes françaises atteignaient les niveaux de $PM_{2.5}$ observés dans les communes de type d'urbanisation équivalent les moins polluées. Autrement dit, les communes rurales atteindraient les niveaux les plus faibles observés dans les communes rurales les moins polluées, et les communes urbaines de plus de 100 000 habitants atteindraient les niveaux les plus faibles observés dans les communes urbaines de plus de 100 000 habitants les moins polluées. Pour chaque classe d'urbanisation, la valeur à atteindre correspond au percentile 5 de la distribution de concentrations de $PM_{2.5}$ dans les communes de la même classe.

Enfin, trois EQIS ont évalué les bénéfices escomptés sur la mortalité du respect des valeurs seuils proposées par l'OMS et le Grenelle de l'environnement, et imposées par la Directive européenne :

- « OMS » : évaluation du nombre de décès évités chaque année si aucune des communes françaises ne dépassait la valeur guide de l'OMS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle pour les $PM_{2.5}$);
- « Grenelle » : évaluation du nombre de décès évités chaque année si aucune des communes françaises ne dépassait la valeur cible du Grenelle de l'environnement ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$);
- « Directive européenne » : évaluation du nombre de décès évités chaque année si aucune des communes françaises ne dépassait les valeurs réglementaires européennes⁴ de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur limite 2015) et de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur cible 2020).

⁴ Du point de vue réglementaire, ces valeurs s'utilisent en respectant un ensemble de préconisations détaillé dans les directives européennes 2008/50/CE du 21 mai 2008 et 2004/107/CE du 15 décembre 2004. Leur utilisation sur des données modélisées dans une EQIS est faite à titre indicative, mais ne constitue pas une évaluation de l'application de la réglementation en France.

2.2. Résultats

Les résultats sont présentés pour la France continentale, et selon la classe d'urbanisation. Les résultats sont détaillés par région en annexe 4 et en annexe 5.

L'étude a porté sur 36 219 communes rassemblant plus de 38,7 millions d'habitants de plus de 30 ans (61,6 millions d'habitants tous âges).

La répartition des communes par classes d'urbanisation est la suivante (tableau 2) :

- 80 % des communes sont classées rurales, rassemblant 9 millions d'habitants de plus de 30 ans (24 % de la population des plus de 30 ans).
- 4 % des communes appartiennent à des unités urbaines de plus de 100 000 habitants, rassemblant plus de 17 millions d'habitants de plus de 30 ans (30 % de la population des 30 ans et plus).

I Tableau 2 I

Population et mortalité selon la classe d'urbanisation (2007-2008)

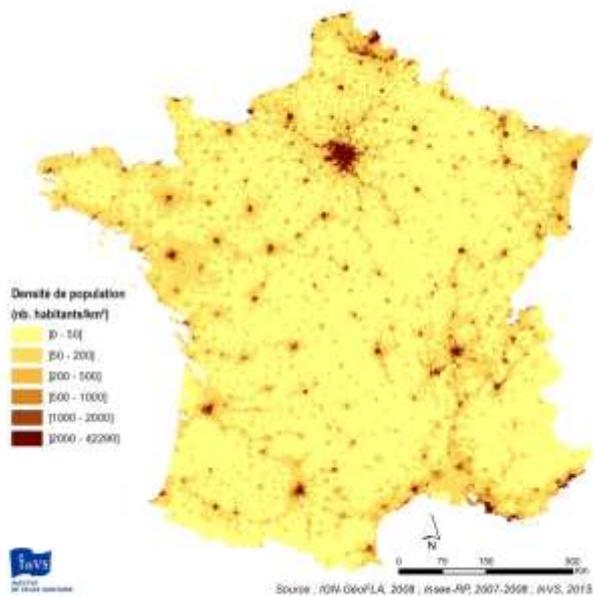
Classe d'urbanisation	Nombre de communes	Population (30 ans et plus)	Population totale	Mortalité toutes causes 30 ans et plus (pour 100 000 habitants de 30 ans et plus)	Mortalité toutes causes 30 ans et plus
Rurales	29 008	9 193 516	13 901 065	1 349	123 978
2 000 - 20 000 habitants	3 847	6 996 488	10 702 664	1 533	107 251
20 000 - 100 000 habitants	1 597	5 288 696	8 256 230	1 459	77 153
>100 000 habitants	2 028	17 245 271	28 793 223	1 183	203 988

La figure 7 illustre les variations géographiques de la moyenne annuelle de la densité de population. La figure 8 illustre les variations géographiques des concentrations annuelles moyennes de PM_{2,5} issues du modèle Gazel-Air et utilisées pour l'EQIS. Pour la période 2007-2008, les concentrations sont plus élevées dans les grandes agglomérations, dans le nord-est de la France, et sur l'axe Lyon-Marseille. Il faut noter que quelques communes identifiées comme « rurales » étaient en fait sous influence industrielle, et connaissent des concentrations en polluants atmosphériques importantes, comme par exemple, autour de l'Étang de Berre ou dans l'est de la France.

En moyenne, les concentrations étaient plus faibles dans les communes rurales, et plus élevées dans les communes appartenant à des unités urbaines de taille importante. Cependant, des niveaux identiques à ceux observés dans les unités urbaines de plus de 100 000 habitants pouvaient être observés dans les communes rurales les plus polluées. Ainsi, plus de 800 000 personnes résidant dans des communes rurales étaient exposées à des valeurs dépassant en moyenne annuelle 14 µg/m³ (percentile 95 des concentrations dans les communes rurales), i.e. proche des concentrations observées en moyenne dans les unités urbaines de plus de 100 000 habitants (tableau 3).

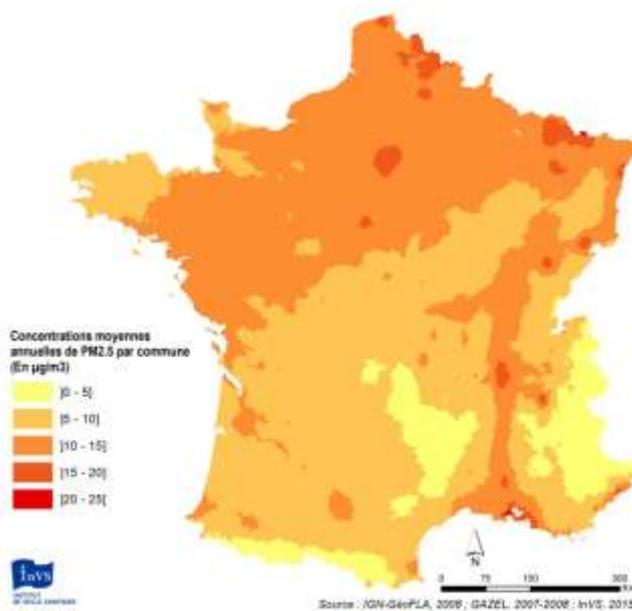
I Figure 7 I

Moyenne annuelle de la densité de population moyenn (nbre d'habitants par km² , 2007-2008)



I Figure 8 I

Concentrations annuelles moyennes de PM_{2.5} utilisées dans l'EQIS (modèle Gazel-Air 2007-2008)



I Tableau 3 I

Description des concentrations moyennes annuelles de PM_{2.5} et population exposée par classes d'urbanisation

Classe d'urbanisation des communes	Médiane (µg/m ³)	Moyenne (µg/m ³)	Percentile 5 (µg/m ³)	Percentile 95 (µg/m ³)	Population exposée au percentile 5 ou moins	Population exposée au percentile 95 ou plus
Rurales	10,1	9,9	4,9	14,0	397 888	800 354
2 000 - 20 000 habitants	10,6	10,6	5,7	14,8	364 854	521 782
20 000 - 100 000 habitants	10,7	10,9	6,5	15,3	334 662	374 766
>100 000 habitants	13,7	13,6	9,2	18,2	932 419	4 753 266

2.2.1.Scénario « sans pollution anthropique »

Dans ce scénario, aucune commune française ne dépasserait la valeur du percentile 5 des concentrations des communes rurales soit 4,9 µg/m³, ce qui correspond à la valeur maximale rencontrée dans les 5% des communes rurales les moins polluées. Ces communes sont principalement localisées dans les massifs montagneux (figure 9).

Sous ce scénario, plus de 48 000 décès seraient évités chaque année en France, dont près de la moitié (plus de 25 800) dans les communes appartenant à une unité urbaine de plus de 100 000 habitants (tableau 4). Les gains seraient également plus importants dans le nord-est de la France, et entre Lyon et Marseille (figure 10).

Les personnes âgées de 30 ans gagneraient alors en moyenne 9 mois d'espérance de vie, soit au total 952 618 années de vie gagnées. Le gain en espérance de vie serait plus important dans les communes appartenant à des unités urbaines de plus de 100 000 habitants, qui totaliseraient 644 768 années de vie gagnées. Pour plus de 34,8 millions d'habitants, le gain en espérance de vie à 30 ans dépasserait un an. En particulier, dans l'agglomération parisienne le gain en espérance de vie dépasserait deux ans (figure 11).

I Tableau 4 I

Nombre de décès évitables et gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « sans pollution anthropique »

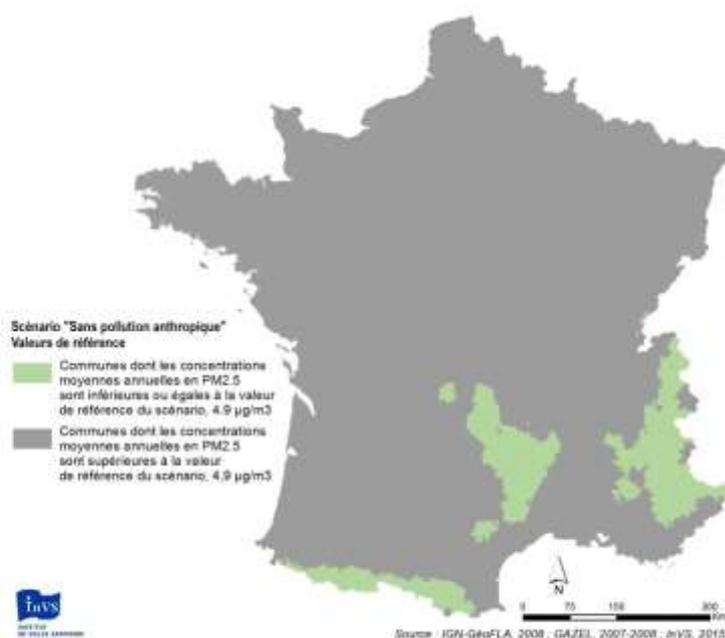
Classe d'urbanisation des communes	Nombre de décès évitables	Pourcentage de décès évitables*	Gain moyen* en espérance de vie à 30 ans (mois)	Nombre total d'années de vie gagnées
Rurales	8 276 [2 971 :12 886]	7 [2 :10]	9 [3 :14]	120 151 [41 780 : 192 632]
2 000 - 20 000 habitants	7 917 [2 847 : 12 307]	7 [3 :11]	10 [3 : 16]	97 516 [33 897 : 156 410]
20 000 - 100 000 habitants	6 212 [2 239 :9 638]	8 [3 :12]	11 [4 :17]	90 182 [31 335 : 144 714]
>100 000 habitants	25 877 [9 471 :39 596]	13 [5 :19]	15 [5 :25]	644 768 [222 541 : 1 042 144]
France	48 283 [17 527 :74 426]	9 [3 :15]	9 [3 :15]	952 618 [329 553 : 1 535 899]

* Par rapport à l'ensemble des décès observés dans la classe d'urbanisation correspondante.

** Moyenne sur l'ensemble des communes de la classe d'urbanisation.

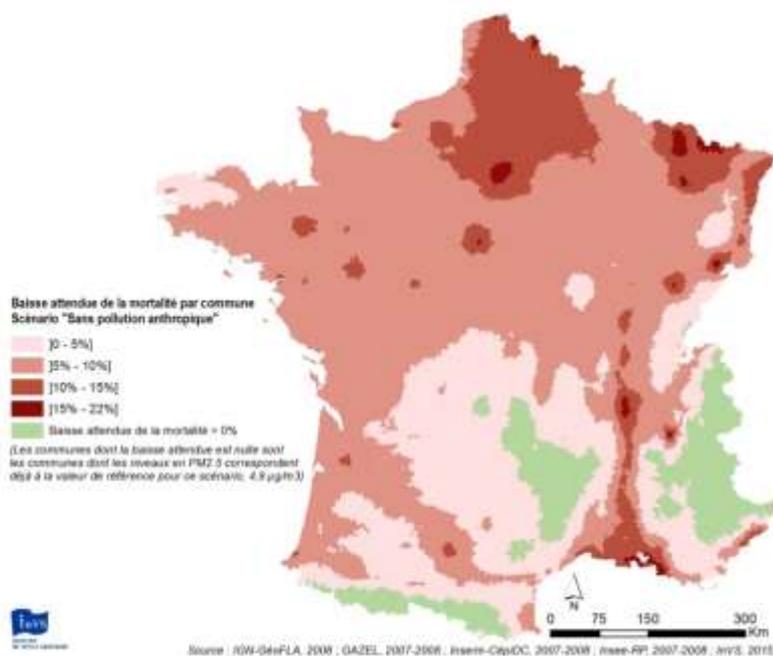
I Figure 9 I

Localisation des communes rurales les moins polluées, servant de référence au scénario « sans pollution anthropique » (concentration annuelle moyenne de $PM_{2.5} < 4,9 \mu g/m^3$)



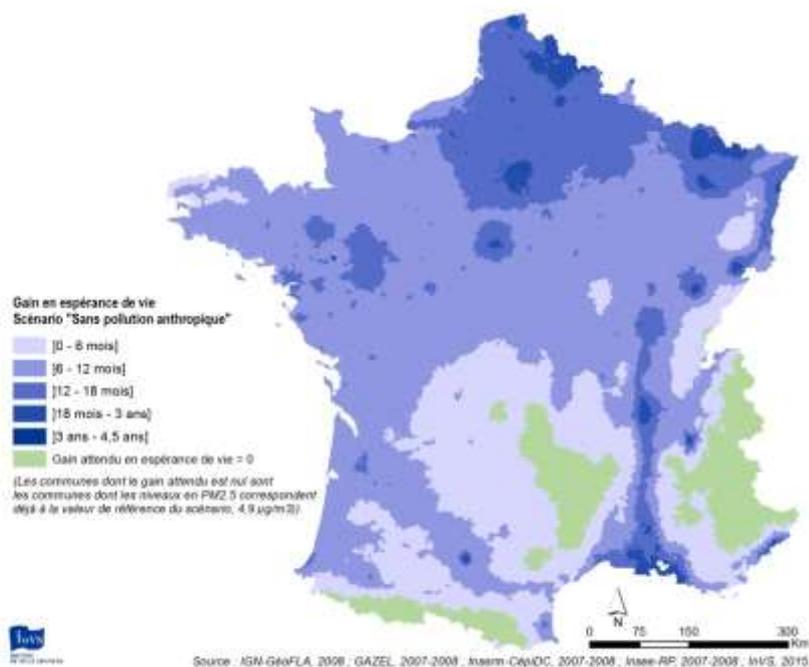
I Figure 10 I

Baisse attendue de la mortalité annuelle (%) sous le scénario « sans pollution anthropique » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapportés au nombre de décès observés)



I Figure 11 I

Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « sans pollution anthropique »



2.2.2.Scénario « communes équivalentes les moins polluées »

Dans ce scénario, aucune commune française ne dépasserait la valeur de PM_{2.5} observée dans les communes de classe d'urbanisation équivalente les moins polluées. Ce scénario correspond en moyenne à une baisse de 5 µg/m³ dans les communes concernées. Les concentrations à atteindre pour chaque commune sont illustrées par la figure 12.

Sous ce scénario, plus de 34 000 décès seraient évités chaque année en France, dont près de la moitié dans les communes appartenant à une unité urbaine de plus de 100 000 habitants. Ceci correspondrait à une baisse moyenne de la mortalité en France de près de 7% (tableau 5) (figure 13). Les personnes de 30 ans gagneraient alors en moyenne 9 mois d'espérance de vie, soit au total 649 331 années de vie gagnées. Pour plus de 19,6 millions d'habitants, le gain en espérance de vie à 30 ans dépasserait un an. Des bénéfices importants seraient observés dans toutes les régions, y compris dans les zones rurales (figure 14).

I Tableau 5 I

Nombre de décès évitables et gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées »

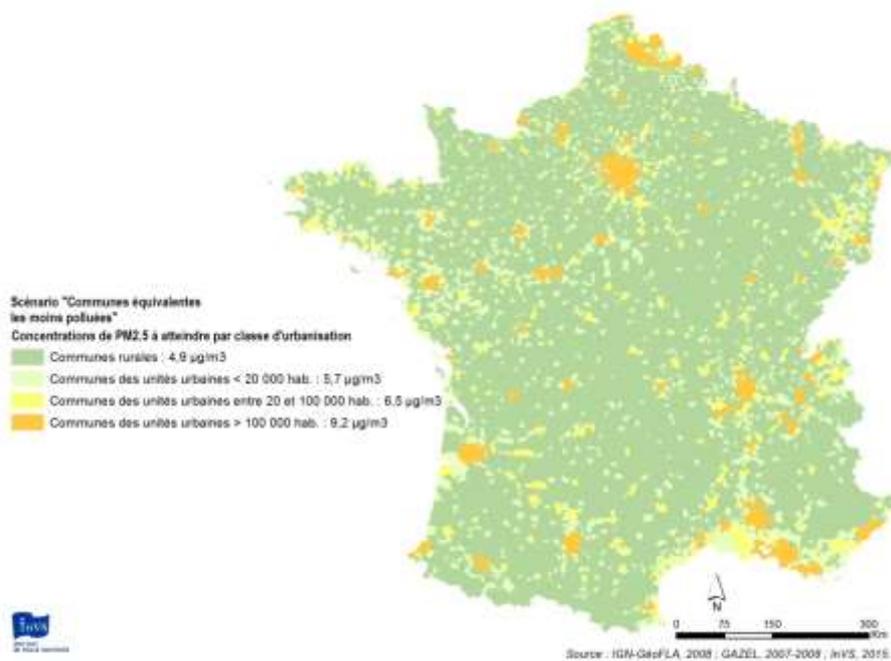
Classe d'urbanisation des communes	Nombre de décès évitables	Pourcentage de décès évitables*	Gain moyen** en espérance de vie à 30 ans (mois)	Nombre total d'années de vie gagnées
Rurales	8 276 [2 971:12 886]	7 [2:10]	9 [3:14]	120 151 [41 780: 192 632]
2 000 - 20 000 habitants	6 700 [2 402:10 445]	6 [2:10]	9 [3:14]	84 080 [29 240:134 785]
20 000 - 100 000 habitants	4 639 [1 662:7 235]	6 [2:9]	8 [3:12]	67 331 [23 416:107 931]
>100 000 habitants	14 902 [5 367:23 131]	7 [3:11]	8 [3:13]	377 768 [130 911:607 723]
France	34 517 [12 401:53 696]	7 [2:10]	9 [3:14]	649 331 [225 348:1 043 070]

* Par rapport à l'ensemble des décès observés dans la classe d'urbanisation correspondante.

** Moyenne sur l'ensemble des communes de la classe d'urbanisation.

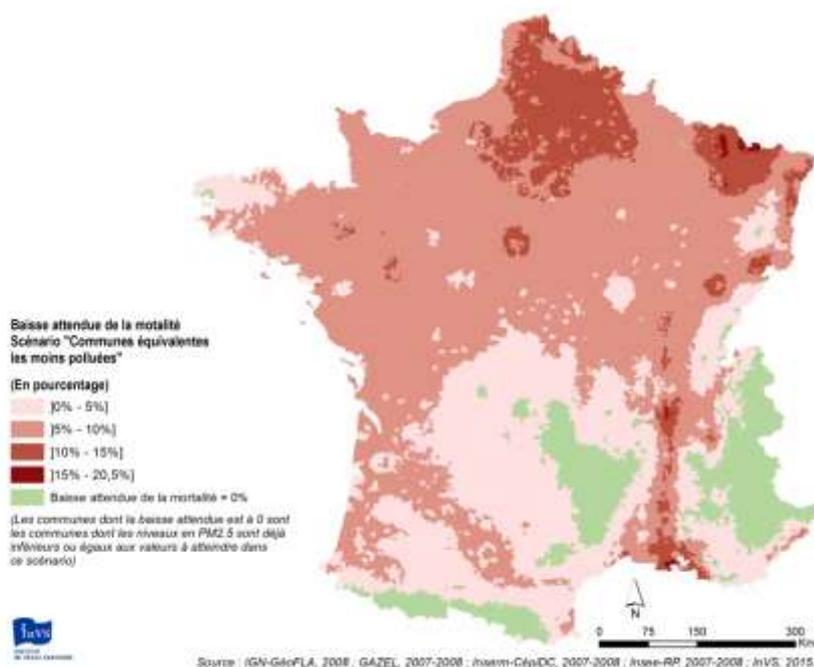
I Figure 12 I

Concentrations de PM_{2,5} à atteindre dans les communes sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées » (µg/m³)



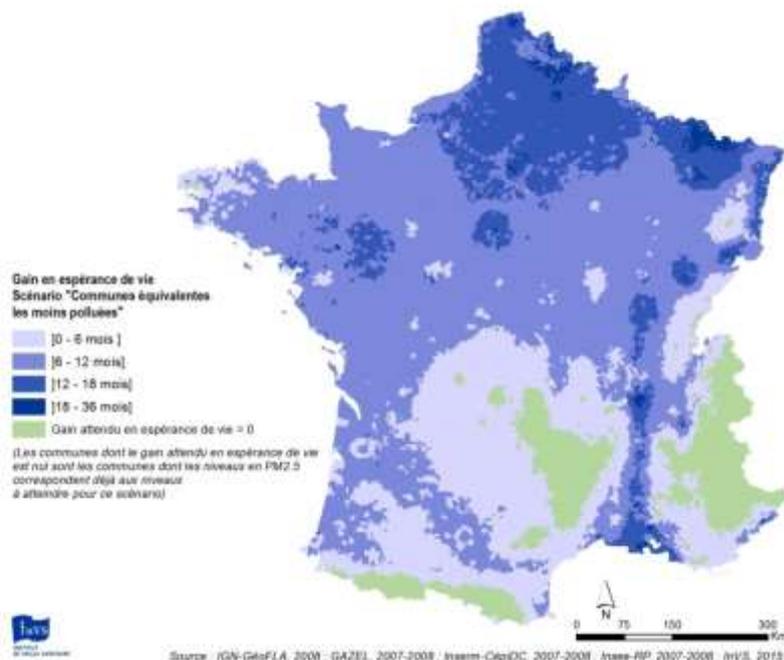
I Figure 13 I

Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapportés au nombre de décès observés)



I Figure 14 I

Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées »



2.2.3.Scénario « OMS »

Si les concentrations en $PM_{2.5}$ respectaient la valeur recommandée par l'OMS ($10 \mu g/m^3$), soit en moyenne une baisse de $2,2 \mu g/m^3$ dans les communes concernées par un dépassement, plus de 17 000 décès pourraient être évités chaque année. La majorité de ces décès (près de 13 000) seraient évités dans les communes de plus de 100 000 habitants (tableau 6) (figure 15).

Les personnes de 30 ans vivant dans les communes où la concentration de $PM_{2.5}$ dépasse $10 \mu g/m^3$ gagneraient alors en moyenne quatre mois d'espérance de vie, soit au total 402 064 années de vie gagnées (figure 16).

I Tableau 6 I

Nombre de décès évitables et gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « OMS »

Classe d'urbanisation des communes	Population exposée à plus de 10 µg/m ³	Nombre de décès évitables	Pourcentage de décès évitables*	Gain moyen* en espérance de vie à 30 ans (mois)	Nombre total d'années de vie gagnées
Rurales	7 794 204	1 553 [549:2 449]	1 [0:2]	3 [1:6]	25 614 [8 927:40 963]
2 000 - 20 000 habitants	6 700 838	1 747 [619:2 752]	2 [1:3]	4 [1:6]	24 217 [8 437:38 742]
20 000 - 100 000 habitants	5 321 608	1 529 [544:2 401]	2 [1:3]	4 [2:7]	23 760 [8 247:38 034]
>100 000 habitants	27 228 859	12 883 [4 627:20 045]	6 [2:10]	7 [2:12]	328 473 [113 904:528 025]
France	47 045 509	17 712 [6 339:27 647]	3 [1:5]	4 [1:6]	402 064 [139 542:645 764]

* Par rapport à l'ensemble des décès observés dans la classe d'urbanisation correspondante.

** Moyenne sur l'ensemble des communes de la classe d'urbanisation.

2.2.4.Scénario « Grenelle »

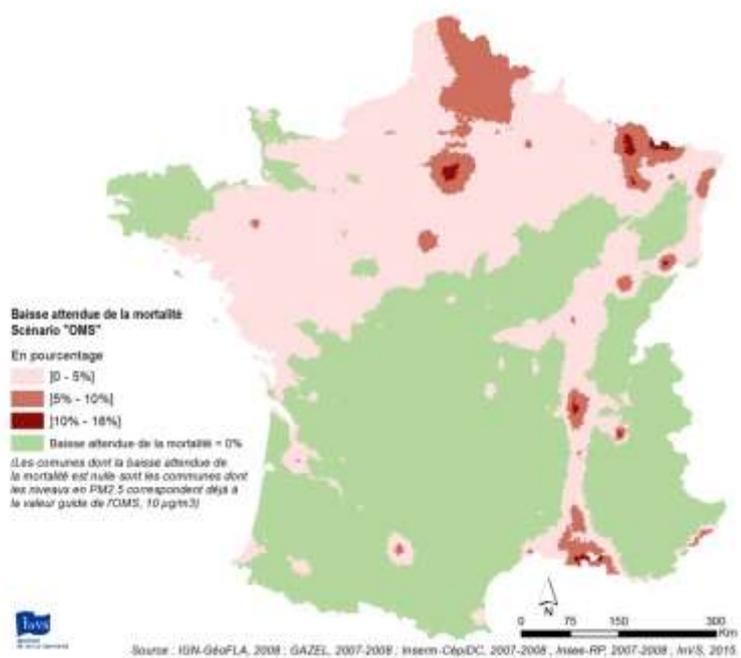
Si les concentrations en PM_{2,5} respectaient la valeur proposée dans le Grenelle de l'environnement (15 µg/m³), soit en moyenne une baisse de 1,3 µg/m³ dans les communes concernées, plus de 3 000 décès (3 094 [1 095 : 4 881]) seraient évités chaque année sur les communes concernées par un dépassement de cette valeur. Ces communes représentent 16 255 259 habitants. Les personnes de 30 ans vivant dans ces communes gagneraient alors en moyenne trois mois d'espérance de vie, soit au total 84 395 années de vie gagnées.

2.2.5.Scénario « Directive européenne »

Sur la base des données Gazel-Air, en 2007-2008 toutes les concentrations de fond sont inférieures à la valeur réglementaire 2015 de la Directive européenne (25 µg/m³). Si les concentrations en PM_{2,5} respectaient la valeur cible prévue pour 2020 de la Directive européenne (20 µg/m³), soit en moyenne une baisse de 0,9 µg/m³ dans les communes concernées (au maximum 2,1 µg/m³), 11 décès [4 :17] seraient évités chaque année sur les communes concernées par un dépassement de cette valeur. Ces communes rassemblent 87 871 habitants. Les personnes de 30 ans vivant dans ces communes gagneraient alors en moyenne un mois et demi d'espérance de vie, soit au total 159 années de vie gagnées.

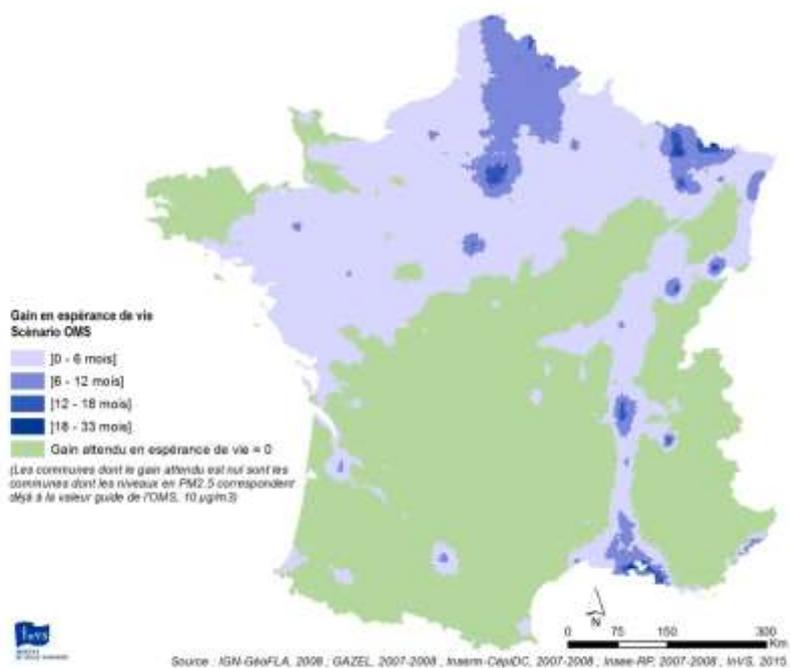
I Figure 15 I

Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « OMS » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapportés au nombre de décès observés)



I Figure 16 I

Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « OMS »



2.3. Analyses de sensibilité

2.3.1. Estimation de l'exposition moyenne sur l'unité urbaine

Dans les unités urbaines composées de plusieurs communes, deux hypothèses de calcul ont été comparées :

- les habitants de chaque commune sont considérés comme étant exposés principalement à la pollution atmosphérique modélisée dans leur commune (analyse principale) ;
- les habitants de chaque commune sont considérés comme étant exposés à la pollution atmosphérique moyenne observée sur l'ensemble des communes composant l'agglomération (analyse de sensibilité).

Les scénarios faisant référence à une valeur seuil sont les plus sensibles à ce choix de calcul ; dans l'analyse principale, une commune peut avoir une concentration inférieure au seuil, et donc un bénéfice sanitaire nul. Sous l'hypothèse retenue dans l'analyse de sensibilité, les habitants de cette commune peuvent être exposés dans d'autres communes de l'unité urbaine à des concentrations supérieures au seuil, et donc un bénéfice sanitaire est attendu. A l'inverse, si une commune est beaucoup plus polluée que le reste de l'unité urbaine, son poids est plus important dans l'analyse principale, et plus faible dans l'analyse de sensibilité.

Dans l'analyse principale, 16 157 [5 790 : 25 198] décès liés aux PM_{2,5} pourraient être évités chaque année dans les communes urbaines françaises si la valeur guide de l'OMS était respectée. Sous la seconde hypothèse, 13 515 [4818 : 21 172] décès pourraient être évités sous le même scénario. Les différences les plus importantes sont observées dans les unités urbaines de Paris, Marseille-Aix-en-Provence et Nice (Tableau 7). Ces différences s'expliquent par la présence au sein de ces unités urbaines de disparités importantes dans les concentrations. Concernant l'espérance de vie, les résultats sont très proches sous les deux hypothèses de calcul, sauf dans les communes avec des concentrations de PM_{2,5} très différentes des communes du reste de l'unité urbaine. Dans ce cas, des écarts dépassant six mois sont observés. Cependant les communes concernées ne regroupent que 42 685 habitants.

I Tableau 7 I

Comparaison du nombre de décès évitables selon les deux méthodes d'estimation des expositions sous le scénario OMS pour quelques unités urbaines

Unités urbaines	Analyse principale	Analyse de sensibilité
Paris	5 647 [2 040:8 742]	4 600 [1 648:7172]
Marseille-Aix-en-Provence	1 014 [365:1 575]	679 [241:1 067]
Lyon	638 [228:997]	487 [173:767]
Lille	594 [213:924]	570 [204:888]
Nice	590 [211:922]	301 [06 :526]

2.3.2. Comparaison avec une EQIS utilisant les données de concentrations en PM_{2,5} du GBD

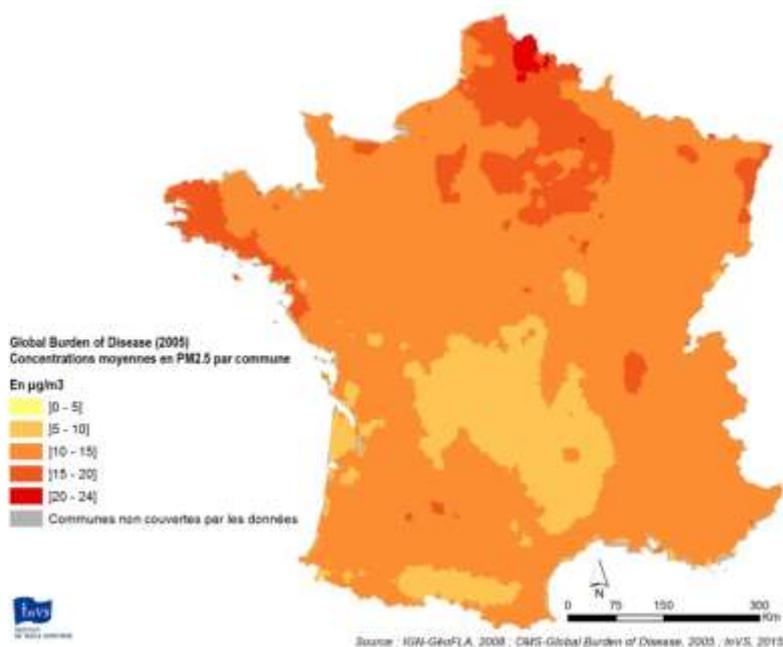
Les données du GBD pour l'année 2005 ont permis d'estimer l'exposition sur le territoire de 35 567 communes, regroupant 35 396 571 habitants de plus de 30 ans (91 % de la population des plus de 30 ans en France métropolitaine). Les concentrations estimées par le GBD pour les PM_{2,5} sont supérieures à celles estimées par Gazel-Air notamment dans les zones rurales et les communes de moins de 20 000 habitants. Par contre, le GBD sous-estime les concentrations par rapport à Gazel-Air dans plusieurs communes appartenant à des unités urbaines de plus de 100 000 habitants. La répartition géographique de la pollution est également différente (figure 17). Globalement, le GBD estime des concentrations de PM_{2,5} plus élevées que Gazel-Air, et plus homogènes sur le territoire.

Ceci se traduit de manière différente selon les scénarios de l'EQIS. Dans le scénario « OMS » où les concentrations sont comparées à une valeur fixe externe au modèle, les données du GBD conduisent à des estimations plus élevées de l'impact : plus de 24 000 décès évitables vs 15 000 décès évitables avec Gazel-Air. Ces différences proviennent principalement des zones rurales et des communes appartenant à des unités urbaines de moins de 20 000 habitants (tableau 8). Dans les unités urbaines de plus de 100 000 habitants, le GBD et Gazel-Air conduisent à des résultats très proches.

Au contraire, dans le scénario « sans pollution anthropique », la concentration à ne pas dépasser par les communes avec les données du GBD est de $9,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vs $4,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avec les données Gazel-Air. Dans ce scénario, avec les données du GBD, ce sont plus de 28 000 décès qui sont attribués à la pollution de l'air chaque année, contre plus de 43 000 avec les données Gazel-Air.

I Figure 17 I

Concentrations de $\text{PM}_{2,5}$ estimées par le GBD (2005)



I Tableau 8 I

Nombre de décès évitables France entière sous deux scénarios, comparaison des données Gazel-Air et du GBD

	Scénario OMS		Scénario sans pollution anthropique	
	Gazel-Air	GBD	Gazel-Air	GBD
Rurales	1 536	4 284	8 098	5 165
<20 000 habitants	1 679	4 012	7 358	4 767
20 000 - 100 000 habitants	1 404	2 979	5 482	3 506
>100 000 habitants	11 132	13 264	22 212	14 595
Total	15 751	24 538	43 150	28 034

2.3.3. Comparaison avec une EQIS utilisant des données mesurées en zones urbaines

La comparaison des concentrations mesurées par les stations en zones urbaines et celles modélisées par Gazel-Air, et les répercussions en termes de nombre de décès évitables sous le scénario « Sans pollution anthropique » sont détaillées dans le tableau 9. Sur un ensemble de 22 unités urbaines, les concentrations estimées par le modèle Gazel-Air sont inférieures à celles estimées par les stations de mesure. L'impact estimé des PM_{2.5} à partir des données mesurées est de 19 393 décès, et de 16 871 décès à partir des données Gazel-Air. Il y a donc une bonne concordance des résultats obtenus avec les mesures et avec Gazel-Air, à l'exception notable de Lyon où la différence entre les deux EQIS est de plus de 600 décès annuels. Cette différence pourrait s'expliquer par différents facteurs :

- peu de stations de mesures étaient disponibles pour caler le modèle Gazel-Air ;
- les mesures utilisées pour l'EQIS proviennent de stations urbaines, conformément aux recommandations du guide EQIS, dont les concentrations sont généralement plus élevées que celles des stations périurbaines.

I Tableau 9 I

Nombre de décès évitables par ville pour le scénario « sans pollution anthropique », comparaison des données mesurées et Gazel-Air

Unités urbaines	Concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Nombre de décès évitables Scénario "Sans pollution anthropique"	
	Mesures	Gazel-Air	Mesures	Gazel-Air
Bayonne	13,5	12,0	180	161
Bordeaux	15,6	12,5	645	469
Grenoble	21,7	14,2	604	440
Le Havre	17,9	12,4	352	223
Lyon	23,9	15,2	1 561	902
Orléans	18,9	16,3	272	226
Paris	18,4	17,8	6 667	6 605
Rouen	18,8	13,3	648	414
Strasbourg	21,3	15,5	624	442
Toulouse	15,2	12,5	588	519
Tours	19,0	11,6	334	157
Caen*	15,1	13,6	197	170
Dijon*	13,6	13,9	195	200
Lens-Douai*	20,0	19,3	611	580
Lille*	22,0	20,9	1 689	1 639
Marseille*	22,7	19,7	1 851	1 619
Montpellier*	16,6	13,5	355	291
Nancy*	16,8	14,8	384	325
Nantes*	14,4	10,8	482	289
Nice*	22,2	21,6	981	1 078
Rennes*	14	11,4	173	122
Total			19 393	16 871

* Les données de $\text{PM}_{2,5}$ mesurées sont estimées par $0.7 \cdot \text{PM}_{10}$ mesurées et les données $\text{PM}_{2,5}$ Gazel-Air par $0.7 \cdot \text{PM}_{10}$ Gazel-Air.

3. Discussion

3.1. Synthèse des principaux résultats

Cette étude constitue la première EQIS réalisée en utilisant la même méthode pour l'ensemble des communes de France continentale. Elle permet de disposer d'une estimation globale du poids des $\text{PM}_{2,5}$ sur la mortalité dans ces communes, et de documenter les impacts dans des zones non couvertes par le réseau de mesure. L'EQIS estime également les bénéfices attendus de diminutions des concentrations de $\text{PM}_{2,5}$ selon différents scénarios.

Par rapport aux précédentes EQIS produites pour la France (OMS, Cafe...), cette étude a l'avantage d'utiliser des données plus récentes (2007-2008), à une échelle spatiale fine, et avec la plus grande cohérence possible entre les données environnementales utilisées dans les études épidémiologiques fournissant le RR, et celles utilisées pour l'EQIS.

De plus, les EQIS réalisées jusqu'à présent à l'échelle du pays avaient été conduites dans le cadre de projets internationaux, visant à fournir des estimations pour l'ensemble du monde, ou de l'Europe.

Leur objectif était avant tout de pouvoir comparer les pays entre eux, et non de fournir une estimation la plus réaliste possible pour chaque pays. Leur contrainte était ainsi de devoir utiliser une méthode cohérente sur une zone d'étude très hétérogène, et de ne pas pouvoir utiliser des données plus fines disponibles dans chacun des pays. On peut donc *a priori* considérer que les résultats de cette étude sont plus proches de la réalité pour la France que les estimations dérivant de projets internationaux, puisque les données d'exposition, de mortalité et de population sont collectées à une échelle plus fine, et que les RR utilisés sont les plus adaptés à la population française.

Les résultats des différentes EQIS réalisées sont résumés dans le tableau 10. Ils confirment le poids de la pollution de l'air sur la santé en France, sachant que le projet ne couvre qu'une partie des impacts de la pollution de l'air sur la santé en se limitant aux décès toutes causes. La baisse de qualité de vie des personnes qui développent une maladie chronique souvent grave liée à la pollution (asthme, cancer du poumon, maladies cardio-vasculaires, etc.) n'a pas été étudiée, pas plus que l'impact de la pollution sur la reproduction, le développement de l'enfant, les maladies endocriniennes et neurodégénératives chez l'adulte.

Enfin, une EQIS similaire détaillée en annexe 6 montre que l'exposition chronique à l'ozone serait en France responsable de près de 500 décès pour causes respiratoires chaque année, avec un gradient Nord-Sud très marqué du à l'influence des conditions météorologique sur la formation d'ozone.

I Tableau 10 I

Nombre total de décès évitables chaque année et gain en espérance de vie moyenne à 30 ans sous les différents scénarios

Scénario	Impact des PM _{2,5}		
	Décès évitables	Gain moyen en espérance de vie à 30 ans (mois)	Nombre total d'années de vie gagnées
Sans pollution anthropique	48 283	9	952 618
Communes équivalentes les moins polluées	34 517	9	649 331
Valeur guide OMS	17 712	4	402 064
Grenelle de l'environnement	3 094	3	84 395
Valeur cible 2020 de la Directive européenne	11	1	159

3.2. Évaluation des incertitudes

Les principales sources d'incertitudes identifiées sont listées dans le tableau 11. Autant que possible, des analyses de sensibilité ont été menées pour avoir une estimation des ordres de grandeur associés. Cependant, l'analyse des incertitudes reste majoritairement qualitative.

En croisant les différentes sources d'incertitudes listées dans le tableau 11, il apparaît que l'incertitude est *a priori* plus faible dans les communes appartenant à des unités urbaines de plus de 100 000 habitants, et plus forte dans les zones rurales. Autrement dit, les résultats produits pour les zones urbaines de plus de 100 000 habitants sont plus fiables que ceux des unités urbaines de 20 000 à 100 000 habitants, eux-mêmes plus fiables que les résultats des unités urbaines de moins de 20 000 habitants. L'incertitude la plus importante se situe dans les zones rurales. Cette appréciation a été indirectement confirmée par les analyses de sensibilité comparant les estimations obtenues avec les données Gazel-Air et avec le GBD : les deux sources de données retrouvent des concentrations et des impacts similaires dans les plus grandes unités urbaines, et des différences importantes dans les zones rurales.

Enfin, au sujet du choix des causes de décès, l'OMS conseille comme alternative possible à la mortalité toutes causes, l'utilisation de la mortalité par accident cérébrovasculaire, par cardiopathie ischémique, par bronchopneumopathie chronique obstructive, et par cancer du poumon ou de la

trachée (tous classés groupe A), et recommande pour ces causes l'utilisation de RR spécifiquement développés pour l'étude du GBD [42]. Ces RR ont été extrapolés de la littérature à partir de nombreuses hypothèses, avec pour objectif de proposer des résultats utilisables sur l'ensemble du globe, et en particulier dans les pays émergents et en développement où il n'existe pas d'études de cohorte sur les impacts de la pollution. Au niveau international donc, la méta-analyse de Hoek *et al.* estime un RR de 1,11 [1,05:1,16] pour 10 µg/m³ pour la mortalité cardiovasculaire (à partir de 11 études). Le RR est de 1,03 [0,94 :1,13] pour 10 µg/m³ pour la mortalité respiratoire (à partir de 6 études) [7]. L'ajout de trois nouvelles études plus récentes ne modifiait pas le RR pour la mortalité cardiovasculaire (1,10 [1,05:1,15]) et augmentait le RR pour la mortalité respiratoire (1,10 [0,98:1,25]) [19].

Au niveau européen et français, nous avons considéré que les résultats des études épidémiologiques [22] [42] n'étaient pas suffisamment robustes aujourd'hui pour les appliquer aux EQIS. Ceci est en partie explicable par le petit nombre de décès enregistrés pour ces causes dans les cohortes européennes, conduisant à un manque de puissance statistique. Il aurait été possible d'utiliser les RR des méta-analyses internationales décrites plus haut, mais cela n'aurait pas été cohérent avec les choix qui ont été faits concernant la mortalité toutes causes.

I Tableau 11 I

Sources et évaluations des incertitudes

Source d'incertitude	Evaluation qualitative de l'incertitude	Méthode d'évaluation
Choix du RR	Pour les PM _{2.5} : les RR sélectionnés sont issus d'une méta-analyse de cohortes portant sur des populations européennes et françaises. A ce jour il s'agit des RR les mieux adaptés à la population française.	Utilisation des bornes inférieures et supérieures de l'intervalle de confiance à 95% des RR.
Application des RR aux données environnementales	Pour les PM _{2.5} : les RR sélectionnés sont très proches des RR estimés par la cohorte Gazel-Air, à partir des données environnementales du modèle Gazel-Air. Ce même modèle étant également utilisé dans l'EQIS, l'incertitude liée à l'application du RR est limitée au maximum.	
Application des RR à des zones rurales	Pour les PM _{2.5} : les RR sélectionnés sont issus de cohortes impliquant en partie des populations rurales. L'utilisation pour réaliser une EQIS en zone rurale est donc possible, mais les résultats dans les zones rurales seront assortis d'une incertitude plus grande que dans les zones urbaines.	
Estimation de l'exposition dans les unités urbaines constituées de plusieurs communes	En utilisant la concentration moyenne d'une commune pour estimer l'exposition, on ne prend pas en compte l'exposition dans les autres communes de l'unité urbaine, alors même que les déplacements des habitants au sein d'une même unité urbaine sont fréquents.	Analyse de sensibilité : estimation de l'exposition moyenne sur l'unité urbaine.
Utilisation d'un modèle pour estimer les concentrations de PM _{2.5}	<p>Les données du modèle Gazel-Air ont été autant que possible calées sur les mesures. Dans le cas des PM_{2.5}, très peu de stations étaient disponibles en 2007-2008, ce qui augmente l'incertitude sur les niveaux modélisés pour ce polluant.</p> <p>Le réseau de mesures étant concentré sur les zones urbaines, les résultats peuvent globalement être jugés plus fiables dans ces zones qu'en zones rurales.</p> <p>Enfin, certaines zones très particulières ne peuvent pas être appréhendées correctement à l'échelle de modélisation utilisée par Gazel-Air.</p>	Analyse de sensibilité : utilisation d'autres sources de données environnementales : le GBD et les données mesurées.
Utilisation de la mortalité toutes causes incluant maladies infectieuses et décès accidentels	<p>La mortalité toutes causes est également l'indicateur choisi par les études de cohorte dont a été tiré le RR utilisé.</p> <p>Cet indicateur regroupe des causes de décès n'étant a priori pas influencé par la pollution, comme les causes accidentelles et les maladies infectieuses. Ces causes ne représentent cependant qu'une faible part des décès en France.</p>	

3.3. La pollution de l'air pèse sur la santé publique en France

Cette nouvelle estimation de l'impact sanitaire de la pollution de l'air en France s'est appuyée sur de nouvelles données environnementales et sanitaires, à une échelle spatiale fine, et en appliquant des RR construits à partir d'étude de cohortes françaises et européennes récentes. L'EQIS a également assuré une forte cohérence interne car s'appuyant sur les données environnementales ayant également servi à estimer le RR utilisé pour les PM_{2.5}. Pour la première fois, on dispose donc d'une estimation du poids de la pollution de l'air sur la mortalité toutes causes pour l'ensemble de la France continentale s'appuyant sur des données françaises. Cette estimation confirme les résultats des études précédentes.

Notre analyse montre que sous un scénario « sans pollution anthropique », autrement dit un scénario où les niveaux de PM_{2.5} seraient ceux observés dans les communes rurales les moins polluées, plus de 48 000 décès seraient évitables chaque année. On peut considérer ce chiffre comme un ordre de grandeur du poids que les PM d'origine anthropique font peser sur la santé en France. Ceci représente en moyenne une perte de 9 mois d'espérance de vie pour une personne âgée de 30 ans, soit plus de 950 000 années de vie perdues chaque année en France. Si l'on décidait d'exclure les communes rurales de l'analyse du fait de l'incertitude plus forte sur leurs résultats, l'impact des PM sur la santé serait encore de 40 000 décès par an. A titre de comparaison, en 2008, les accidents de la route ont fait 4 403 victimes [43]. Le tabac est quant à lui responsable de 78 000 décès par an [44].

L'estimation de 48 000 décès par an attribuable à la pollution anthropique en France est du même ordre de grandeur que la précédente estimation du programme européen Cafe (42 000 décès par an en France). Dans Cafe, les données de pollution étaient issues du modèle de l'European Monitoring and Evaluation Programme (Emep), qui couvre l'Europe avec une maille de 50x50 km. Seules les particules d'origine anthropique étaient prises en compte, et correspondaient à des valeurs représentant le « bruit de fond naturel » de la pollution, i.e. sans pollution d'origine anthropique [45]. Nous n'avons pas eu accès aux données d'exposition utilisées par le programme Cafe, ce qui aurait permis de vérifier si, comme pour le GBD, il existait un bon accord avec le modèle Gaze!-Air sur les plus grandes agglomérations. De plus, le modèle Gaze!-Air ne fournit pas la part anthropique des particules, et un calcul strictement équivalent au scénario de Cafe n'a pas été possible. Cafe utilisait un RR plus faible que celui retenu dans cette EQIS (RR issu des cohortes nord-américaines). Nos résultats, plus élevés que Cafe, peuvent s'expliquer par une meilleure estimation de l'exposition, et par l'utilisation d'un RR plus élevé. Par rapport à ces précédentes EQIS, notre étude a l'avantage d'utiliser des données plus récentes (2007-2008), une échelle spatiale relativement fine, et présente la plus grande cohérence possible entre les données environnementales utilisées dans les études épidémiologiques fournissant le RR et les données d'exposition utilisées pour l'EQIS (modèle Gaze!-Air).

Sous un scénario plus réaliste, si l'ensemble des communes réussissait à atteindre les niveaux de PM_{2.5} observés dans les zones les moins polluées de la même classe d'urbanisation, ce sont plus de 34 000 décès qui pourraient être évités chaque année dont près de la moitié dans les communes appartenant à des unités urbaines de plus de 100 000 habitants. Le gain moyen en espérance de vie à 30 ans dépasserait 6 mois dans 39 des 54 unités urbaines de plus de 100 000 habitants, et un an dans 17 de ces unités urbaines. Des bénéfices importants seraient observés dans toutes les régions, y compris dans les zones rurales. Par exemple, si toutes les communes rurales réussissaient à atteindre les concentrations observées dans les communes rurales les moins polluées, plus de 8 000 décès pourraient être évités chaque année.

Si la valeur recommandée par l'OMS (10 µg/m³) était respectée dans toutes les communes de France continentale, plus de 17 000 décès pourraient être évités chaque année, dont plus de 11 000 dans les communes appartenant à des unités urbaines de plus de 100 000 habitants. Ainsi, les niveaux élevés de PM_{2.5} sont responsables de 2 à 5 % de la mortalité toutes causes, et jusqu'à 15 % dans les communes les plus polluées. L'OMS a estimé en 2010 que 16 900 décès pourraient être évités chaque année en France si les niveaux de PM_{2.5} ne dépassaient pas 10 µg/m³ [12]. Cette estimation, remarquablement proche de la nôtre, masque deux différences : notre étude estime des concentrations plus faibles que l'OMS en particulier en zones rurales, mais utilise un RR plus élevé.

Par ailleurs, si les PM_{2.5} respectaient la valeur proposée lors du Grenelle de l'environnement (15 µg/m³), plus de 3 000 décès seraient évités chaque année sur l'ensemble de la France. Ces bénéfices s'observeraient majoritairement dans les plus grandes agglomérations et les communes

concernées par un PPA. Pour 1,4 millions d'habitants vivant dans ces agglomérations, le gain en espérance de vie à 30 ans dépasserait 6 mois.

Enfin, les bénéfices sanitaires associés au respect de la valeur cible réglementaire 2020 pour les PM_{2.5} (20 µg/m³) sont très faibles, et ne concerneraient que très peu de communes.

En France en 2008, les deux principales causes de décès étaient les cancers (29,6 % des décès) et les maladies cardiovasculaires (27,5 % des décès) [46]. Le caractère cancérigène des PM et de la pollution de l'air dans son ensemble a été acté par le Centre international de recherche sur le cancer (Circ) en 2013 [47], et la pollution de l'air est considérée comme une des premières causes environnementales de cancer.

L'impact des particules sur la mortalité cardiovasculaire a également été décrit par plusieurs études [6] y compris en France [48]. Les PM augmentent également le risque de développer des pathologies respiratoires, des troubles neurologiques et endocriniens, des troubles de la reproduction, des troubles du développement et de la fonction cognitive chez l'enfant, et des démences chez les personnes âgées.

La baisse des niveaux de pollution de l'air constitue donc un levier pour diminuer le fardeau de ces maladies au sein de la population française, et devrait à ce titre être promue.

3.4. L'amélioration de la qualité de l'air aura également d'autres impacts sur la santé, la qualité de vie et l'environnement

La contribution de l'exposition chronique aux PM_{2.5} à la mortalité et à la perte d'espérance de vie en France justifie la mise en place d'actions visant à réduire durablement la pollution de fond. Compte-tenu de la diversité des sources de polluants (transports, logements, industries, agriculture...), ces interventions pourront également induire de nombreux co-bénéfices sanitaires et sociaux.

Par exemple, promouvoir des modes de transports actifs par rapport à la voiture se traduit par une amélioration de la santé physique et réduit les risques de maladies cardiovasculaires. Ainsi, dans une région des États-Unis regroupant 31 millions d'habitants, une simulation a permis d'estimer que plus de 1 200 décès par an pourraient être évités chaque année si les trajets courts (moins de 8 km) en voiture étaient supprimés et dans un cas sur deux remplacés par un trajet à vélo. Ce bénéfice serait pour moitié dû à l'amélioration de la qualité de l'air (baisse de 0,1 µg/m³ par an), et pour moitié à l'activité physique accrue [49]. En Ile-de-France, une étude visant à évaluer les impacts sanitaires de la pratique du vélo a mis en exergue les importants bénéfices découlant de l'activité physique. Pour un doublement de la pratique du vélo en 2020, ce qui représenterait 4 % de l'ensemble des déplacements, les bénéfices individuels seraient 20 fois plus importants que les risques d'accidents et les risques induits par une possible surexposition à la pollution pendant le déplacement. Si le taux de report de la voiture vers le vélo était plus important, le risque l'accidentologie globale diminuerait [50]. De nombreuses études similaires estiment les bénéfices sanitaires attendus sous diverses politiques ; report modal, modification de la composition des carburants, mise en place de péage urbain [51] tous ces travaux concluent à des améliorations de l'état de santé, en travaillant sur divers indicateurs ; mortalité, espérance de vie, hospitalisations pour asthme, prévalence des maladies respiratoires et cardiovasculaires, cancers, naissances prématurées, etc.

La possibilité d'obtenir des bénéfices sanitaires importants rapidement après la mise en place de mesures visant à améliorer la qualité de l'air est confortée par les résultats d'études dites d'interventions [51] [52]. Ces études observent les conséquences sanitaires d'améliorations effectives de la qualité de l'air. Ainsi, par exemple, l'amélioration de la qualité de l'air aux États-Unis depuis les années 1970 a contribué à l'augmentation de l'espérance de vie sur l'ensemble du territoire des États-Unis [53]. De même, certaines interventions type restriction du trafic routier peuvent diminuer l'exposition au bruit de la population. Et il a été montré que l'exposition au bruit des transports augmente le risque de cardiopathie ischémique [54].

Enfin, les actions visant à réduire les émissions de polluants peuvent également limiter les émissions de gaz à effets de serre et contribuer ainsi à atténuer le changement climatique [55;56]. Le changement climatique pose un risque majeur pour la santé publique, *via* une chaîne complexe d'interactions entre le climat, l'environnement et les sociétés, impactant in fine la santé et le bien-être des populations. Certains de ces impacts sont déjà visibles. Par exemple, environ 75 % des jours

chauds observés depuis 1850 pourraient être déjà attribuables au changement climatique [57]. Or, les vagues de chaleur se traduisent par une surmortalité importante : 15 000 décès en août 2003, 2 000 décès en juillet 2006 en France [16]. Des interactions entre les effets à court terme de la pollution (ozone et particules) et chaleur extrêmes ont été documentées en France [58-60]. La chaleur n'est qu'un des nombreux risques susceptibles d'être aggravés par le changement climatique [61;62]. Les impacts sanitaires futurs seront d'autant plus importants que l'amplitude du réchauffement sera forte. Réduire conjointement les émissions de polluants de l'air et de gaz à effet de serre permettrait donc d'améliorer la santé aujourd'hui *via* l'amélioration de la qualité de l'air, tout en réduisant les risques sanitaires pour les générations futures. Par exemple, la mise en place de mesures réduisant les émissions de méthane et de carbone suie afin de ne pas dépasser un réchauffement moyen de 0,5 °C en 2050, pourrait se traduire par une baisse de 0,7 à 4,7 millions du nombre de décès dus à la pollution de l'air dans le monde [63].

Ces quelques exemples indiquent que les interventions sur la pollution de l'air sont a priori des mesures « sans regret » : elles se traduiraient par des gains sanitaires importants pour la population en augmentant l'espérance de vie, et contribueraient à améliorer la qualité de vie et à résoudre d'autres problèmes de santé publique.

3.5. Perspective pour les EQIS

Les EQIS présentées dans ce rapport pourront être mises à jour lorsque des nouveaux RR et de nouveaux modèles plus précis seront disponibles pour estimer l'exposition. Cependant, considérant l'impact sur la santé publique de la pollution de l'air, et la cohérence des études scientifiques établissant cet impact, la question n'est plus tant la production d'estimations que la mise en place d'actions permettant d'agir sur les niveaux de polluants, en particulier par des réductions des émissions.

Le couplage de l'outil EQIS à des modèles d'évolution de la qualité de l'air prenant en compte les évolutions en termes d'émissions, et les évolutions climatiques susceptibles de modifier la pollution doit également être poursuivi. Le projet Air-Climate Health Impact Assessment (Achia) a posé les premières bases d'un tel couplage, en comparant les bénéfices sanitaires attendus en 2030 et 2050 de deux scénarios d'évolutions des émissions polluantes [64]. Le projet a utilisé deux scénarios prospectifs développés par la Commission européenne en 2013 : le premier correspond à l'application de la réglementation actuellement en vigueur pour la qualité de l'air (et les objectifs correspondants pour l'avenir), et le second à la plus grande réduction d'émissions techniquement faisable par l'implémentation de l'ensemble des solutions technologiques actuellement disponibles pour réduire la pollution. Un scénario moyen de changement climatique (RCP 4.5.), a également été pris en compte. En Europe, une amélioration de la qualité de l'air et de la santé est attendue pour les deux scénarios. En 2010, plus de 250 millions d'européens étaient exposés à des niveaux de particules supérieurs à la valeur recommandée par l'OMS. Ce nombre pourrait être diminué de moitié en 2030 si la réglementation actuelle est respectée. Ainsi, dès 2030, 109 000 décès pour causes cardiovasculaires pourraient être retardés chaque année. Si les pays mettaient en place toutes les mesures techniques disponibles pour améliorer la qualité de l'air, le bénéfice serait deux fois plus important [64].

En parallèle, au niveau local, les EQIS demeurent un outil apprécié d'aide à la décision. Le récent bilan des EQIS réalisées en France depuis 1995 [14] montre l'intérêt que portent les partenaires interrogés à ces EQIS. Ce bilan rapporte également les attentes exprimées en matière d'évolution de l'outil pour qu'il soit mieux adapté aux besoins locaux, par exemple, en termes d'évaluation d'actions concrètes prévues pour réduire la pollution de l'air et ses impacts sur la santé. Le développement de telles études à différentes échelles et pour différents scénarios d'intervention sur la qualité de l'air apporteront de nouveaux éléments utiles à la décision.

Références bibliographiques

- [1] OCDE. Le coût de la pollution de l'air - Impacts sanitaires du transport routiers. 2014. 91 p.
- [2] Larrieu S, Lefranc A, Gault G, Chatignoux E, Couvy F, Jouves B, *et al.* Are the short-term effects of air pollution restricted to cardiorespiratory diseases? *Am J Epidemiol* 2009;169(10):1201-8.
- [3] Pope III CA, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, *et al.* Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. 2002;287(9):1132-41.
- [4] Pope III CA, Burnett RT, Thurston GD, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, *et al.* Cardiovascular Mortality and Long-Term Exposure to Particulate Air Pollution: Epidemiological Evidence of General Pathophysiological Pathways of Disease. 2004;109(1):71-7.
- [5] Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, Andersen ZJ, Weinmayr G, Hoffmann B, *et al.* Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *Lancet* 2014;383(9919):785-95.
- [6] Hoek G, Krishnan RM, Beelen R, Peters A, Ostro B, Brunekreef B, *et al.* Long-term air pollution exposure and cardio- respiratory mortality: a review. *Environ Health* 2013;12(1):43.
- [7] Pope III CA, Dockery DW. Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. 2006;56(6):709-42.
- [8] Anderson HR, Atkinson R, Peacock JL, Marston L, Konstantinou K. Meta-analysis of time series studies of particulate matter (PM) and ozone (O3). Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2004. 80 p. [consulté le 28/09/2011]. Disponible à partir de l'URL : http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0004/74731/e82792.pdf
- [9] Commission européenne. Environnement : nouveau train de mesures en faveur de la qualité de l'air en Europe. 2013. 1 p.
- [10] Kunzli N, Kaiser R, Medina S, Studnicka M, Chanel O, Filliger P, *et al.* Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet* 2000;356(9232):795-801.
- [11] Amann M, Cabala R, Cofala J, Heyes C, Klimont Z, Schöpp C, *et al.* The "Current Legislation" and the "Maximum Technically Feasible Reduction" cases for the CAFE baseline emission projection. Laxenburg, Autriche: International Institute for Applied Systems Analysis; 2004. 41 p.
- [12] Institute for Health Metrics and Evaluation. Global Burden of Disease database. 2014.
- [13] Pascal M, Corso M, Chanel O, Declercq C, Badaloni C, Cesaroni G, *et al.* Assessing the public health impacts of urban air pollution in 25 European cities: results of the Aphekom project. *Sci Total Environ* 2013;449:390-400.
- [14] Ung A, Blanchard M, Gault G, Guillois Y, Pascal L, Pascal M, *et al.* Évaluation quantitative d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine en France: bilan des études locales et retours des parties prenantes. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire - InVS ; 2016. 38 p.
- [15] Ung A, Pascal M, Corso M, Chanel O, Declercq C. Comment réaliser une évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine ? Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire - InVS ; 2013. 47 p.

- [16] Fouillet A, Rey G, Wagner V, Laaidi K, Empereur-Bissonnet P, Le TA, *et al.* Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. *Int J Epidemiol* 2008;37(2):309-17.
- [17] WHO Regional office for Europe. Health risks of air pollution in Europe - Hrapie project - Recommendations for concentration-response functions for cost-benefits analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. Copenhagen, Denmark: WHO Regional office for Europe; 2013. 60 p.
- [18] WHO Regional office for Europe. WHO Expert Meeting: Methods and tools for assessing the health risks of air pollution at local, national and international level. Bonn: WHO; 2014. 107 p.
- [19] Beelen R, Stafoggia M, Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Xun WW, Katsouyanni K, *et al.* Long-term Exposure to Air Pollution and Cardiovascular Mortality: An Analysis of 22 European Cohorts. *Epidemiology* 2014;25(3):368-78.
- [20] Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Beelen R, Samoli E, Stafoggia M, Weinmayr G, *et al.* Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *Lancet Oncol* 2013;14(9):813-22.
- [21] Eeftens M, Beelen R, de HK, Bellander T, Cesaroni G, Cirach M, *et al.* Development of Land Use Regression models for PM(2.5), PM(2.5) absorbance, PM(10) and PM(coarse) in 20 European study areas; results of the ESCAPE project. *Environ Sci Technol* 2012;46(20):11195-205.
- [22] Bentayeb M, Wagner V, Stempfelet M, Zins M, Goldberg M, Pascal M, *et al.* Association between long-term exposure to air pollution and mortality in France: A 25-year follow-up study. *Environment International* 2015;85:5-14.
- [23] Bentayeb M, Stempfelet M, Wagner V, Zins M, Bonenfant S, Songeur C, *et al.* Retrospective modeling outdoor air pollution at a fine spatial scale in France, 1989-2008. 2014;92:267-79.
- [24] Le Tertre A, Schwartz J, Touloumi G. Empirical Bayes and adjusted estimates approach to estimating the relation of mortality to exposure of PM(10). *Risk Anal* 2005;25(3):711-8.
- [25] Puett RC, Hart JE, Suh H, Mittleman M, Laden F. Particulate matter exposures, mortality, and cardiovascular disease in the health professionals follow-up study. 2011;119(8):1130-5.
- [26] Lipsett MJ, Ostro BD, Reynolds P, Goldberg D, Hertz A, Jerrett M, *et al.* Long-term exposure to air pollution and cardiorespiratory disease in the California teachers study cohort. 2011;184(7):828-35.
- [27] Ostro B, Lipsett M, Reynolds P, Goldberg D, Hertz A, Garcia C, *et al.* Long-term exposure to constituents of fine particulate air pollution and mortality: Results from the California Teachers Study. 2010;118(3):363-9.
- [28] Crouse DL, Peters PA, van Donkelaar A, Goldberg MS, Villeneuve PJ, Brion O, *et al.* Risk of nonaccidental and cardiovascular mortality in relation to long-term exposure to low concentrations of fine particulate matter: A canadian national-level cohort study. 2012;120(5):708-14.
- [29] Hart JE, Garshick E, Dockery DW, Smith TJ, Ryan L, Laden F. Long-term ambient multipollutant exposures and mortality. 2011;183(1):73-8.
- [30] Lepeule J, Laden F, Dockery D, Schwartz J. Chronic exposure to fine particles and mortality: An extended follow-up of the Harvard six cities study from 1974 to 2009. 2012;120(7):965-70.

- [31] Jerrett M, Burnett RT, Ma R, Pope CA, III, Krewski D, Newbold KB, *et al.* Spatial analysis of air pollution and mortality in Los Angeles. *Epidemiology* 2005;16(6):727-36.
- [32] Puett RC, Hart JE, Yanosky JD, Paciorek C, Schwartz J, Suh H, *et al.* Chronic fine and coarse particulate exposure, mortality, and coronary heart disease in the Nurses' Health Study. 2009;117(11):1697-701.
- [33] Cesaroni G, Badaloni C, Gariazzo C, Stafoggia M, Sozzi R, Davoli M, *et al.* Long-term exposure to urban air pollution and mortality in a cohort of more than a million adults in Rome. 2013;121(3):324-31.
- [34] Beelen R, Hoek G, van den Brandt PA, Goldbohm RA, Fischer P, Schouten LJ, *et al.* Long-term effects of traffic-related air pollution on mortality in a Dutch cohort (NLCS-AIR study). *Environ Health Perspect* 2008;116(2):196-202.
- [35] Organisation mondiale de la santé. Review of evidence on health aspects of air pollution - Revihaap project technical report. Copenhagen, Danemark: Organisation mondiale de la santé; 2013. 302 p.
- [36] Aasqa. Réalisation de cartographies de qualité de l'air de 1989 à 2008 pour évaluer l'exposition de la cohorte Gazel. 2012. 72 p.
- [37] Menut L, Bessagnet B, Khvorostyanov D, Beekmann M, Blond N, Colette A, *et al.* Chimere 2013: a model for regional atmospheric composition modelling. *Geoscientific model development* 2013;6:981-1028.
- [38] Vautard R, Beekmann M, Bessagnet B, Menut L. Chimere - Un simulateur numérique de la qualité de l'air. 2007. 23 p. <http://euler.lmd.polytechnique.fr/chimere>
- [39] Bentayeb M, Stempfelet M, Wagner V, Zins M, Bonenfant S, Songeur C, *et al.* Retrospective modeling outdoor air pollution at a fine spatial scale in France, 1989-2008. 2014;92:267-79.
- [40] Brauer M, Amann M, Burnett RT, Cohen A, Dentener F, Ezzati M, *et al.* Exposure assessment for estimation of the global burden of disease attributable to outdoor air pollution. *Environ Sci Technol* 2012;46(2):652-60.
- [41] Boldo E, Medina S, LeTertre A, Hurley F, Mucke HG, Ballester F, *et al.* Aphis: Health impact assessment of long-term exposure to PM2.5 in 23 European cities. *Eur J Epidemiol* 2006;21(6):449-58.
- [42] Dimakopoulou K, Samoli E, Beelen R, Stafoggia M, Andersen ZJ, Hoffmann B, *et al.* Air pollution and nonmalignant respiratory mortality in 16 cohorts within the ESCAPE project. *Am J Respir Crit Care Med* 2014;189(6):684-96.
- [43] Observatoire national interministériel de sécurité routière. La sécurité routière en France : bilan de l'année 2008. Paris, France : Observatoire national interministériel de sécurité routière ; 2009. 165 p.
- [44] Ribassin-Majed L, Hill C. Trends in tobacco-attributable mortality in France. *Eur J Public Health* 2015.
- [45] Hurley F, Hunt A, Cowie H, Holland M, Miller B, Pye S, *et al.* Methodology for the Cost-Benefit analysis for CAFE: Volume 2 – Health Impact Assessment. Oxon: AEA Technology Environment; 2005. 149 p.
http://ec.europa.eu/environment/archives/cafe/pdf/cba_methodology_vol2.pdf
- [46] Aouba A., Eb M, Rey G, Pavillon G, Jouglu E. Données sur la mortalité en France : principales causes de décès en 2008 et évolutions depuis 2000. *Bull epidemiol hebd* 2011;(22):249-55.

- [47] Centre International de recherche contre le cancer. Communiqué de presse n° 221. La pollution atmosphérique une des premières causes environnementales de décès par cancer, selon le CIRC. 2013.
- [48] Bentayeb M, Wagner V, Stempfelet M, Zins M, Goldberg MS, Pascal M. Association between long-term exposure to air pollution and mortality in France: a 25-year follow-up study. Submitted 2015.
- [49] Grabow ML, Spak SN, Holloway T, Stone B, Mednick AC, Patz JA. Air quality and exercise-related health benefits from reduced car travel in the midwestern United States. *Environ Health Perspect* 2012;120(1):68-76.
- [50] Prasnoczy C. Les bénéfices et les risques de la pratique du vélo - Évaluation en Ile-de-France. Paris, France : Observatoire régional de la santé ; 2012. 163 p.
- [51] Duchesne L, Medina S. Études d'intervention sur la qualité de l'air : quels effets sur la santé ? *Revue de la littérature (1987-2015)*. Saint-Maurice : InVS; 2016. 53 p.
- [52] Henschel S, Atkinson R, Zeka A, Le TA, Analitis A, Katsouyanni K, *et al*. Air pollution interventions and their impact on public health. *Int J Public Health* 2012;57(5):757-68.
- [53] Correia AW, Pope CA, III, Dockery DW, Wang Y, Ezzati M, Dominici F. Effect of air pollution control on life expectancy in the United States: an analysis of 545 U.S. counties for the period from 2000 to 2007. *Epidemiology* 2013;24(1):23-31.
- [54] WHO Regional office for Europe. Burden of disease from environmental noise: quantification of healthy life years lost in Europe. Copenhagen: WHO; 2011. 106 p.
- [55] Dennekamp M, Carey M. Air quality and chronic disease: why action on climate change is also good for health. *N S W Public Health Bull* 2010;21(5-6):115-21.
- [56] World Health Organisation. Promoting health while mitigating climate change. Genève: World Health Organisation; 2014. 33 p.
- [57] Fischer EM, Knutti R. Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes. 2015;5(6):560-4.
- [58] Filleul L, Cassadou S, Medina S, Fabres P, Lefranc A, Eilstein D, *et al*. The relation between temperature, ozone, and mortality in nine French cities during the heat wave of 2003. *Environ Health Perspect* 2006;114(9):1344-7.
- [59] Pascal M, Chatignoux E, Wagner V, Blanchard M, Corso M, Falq G, *et al*. Seasonal Effect of Ozone Concentrations on Mortality in 9 French Cities. *Epidemiology* 2011;22(1).
- [60] Pascal M, Falq G, Wagner V, Chatignoux E, Corso M, Blanchard M, *et al*. Short-term impacts of particulate matter (PM10, PM10-2.5, PM2.5) on mortality in nine French cities. 2014;95:175-84.
- [61] Watts N, Adger WN, Agnolucci P, Blackstock J, Byass P, Cai W, *et al*. Health and climate change: policy responses to protect public health. *Lancet* 2015.
- [62] Pascal M. Impacts sanitaires du changement climatique en France, quels enjeux pour l'InVS ? Saint-Maurice, France : Institut de veille sanitaire ; 2010. 57 p.
- [63] Shindell D, Kuylenstierna JC, Vignati E, Van DR, Amann M, Klimont Z, *et al*. Simultaneously mitigating near-term climate change and improving human health and food security. *Science* 2012;335(6065):183-9.

- [64] Likhvar VN, Pascal M, Markakis K, Colette A, Hauglustaine D, Valari M, *et al.* A multi-scale health impact assessment of air pollution over the 21st century. *Sci Total Environ* 2015;514:439-49.
- [65] Balleydier E, Larrieu S, Filleul L. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Agglomération d'Agen. Impact à court et long. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2006. 22 p.
- [66] Pascal L, Franke F, Lasalle JL, Sillam F, Geneve C, Malfait P. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine dans six agglomérations de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, 2004-2006. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire; 2011. 8 p.
- [67] Fahet G. Évaluation de l'impact sanitaire à court-terme de la pollution atmosphérique urbaine dans l'agglomération d'Albi. Toulouse : Observatoire régional de la santé Midi-Pyrénées ; 2003. 48 p.
- [68] Masson N. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur Amiens de 2000 à 2002. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire; 2006. 54 p.
- [69] Belchior E. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine - Unité urbaine d'Angers. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire; 2009. 28 p.
- [70] Rivière D, Gazeau A, Revelat E, Kespem Y, Rimbaud L, Doucelin D, *et al.* Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Agglomérations d'Angoulême, Niort, Poitiers. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire ; 2005. 40 p.
- [71] Yvon JM, Huchet KC. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine dans l'agglomération d'Annecy, 2009-2011. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2015. 8 p.
- [72] Gault G, Corso M, Guernion PY, Pascal M, Rolland P. Évaluation de l'impact sanitaire à court et long terme de la pollution atmosphérique urbaine dans les agglomérations de Bayonne et Pau, département des Pyrénées-Atlantiques, 2007-2009. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire; 2013. 8 p.
- [73] Delavelle B, Nourry L. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Agglomération de Besançon. Impact à court et long terme. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2006. 36 p.
- [74] Declercq C, Corso M, Pascal M. Impact sur la mortalité de scénarios de diminution des concentrations de particules en suspension dans neuf villes françaises. Saint-Maurice, France : Institut de veille sanitaire; 2012. 17 p.
- [75] Guillois Y., Air Breizh. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine sur l'agglomération brestoise, 2009-2010. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2016. 8 p.
- [76] Blanchard M, Legrand Ch. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine dans l'agglomération de Caen, Calvados, 2009-2010. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2014. 4 p.
- [77] Pascal L, Franke F, Lasalle JL, Sillam F, Geneve C, Malfait P. Évaluation de l'impact sanitaire à court et long terme de la pollution atmosphérique urbaine dans l'agglomération de Cannes, 2004-2006. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire; 2011. 2 p.
- [78] Fougere E, Vincent N, Vaissiere E. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine dans l'agglomération de Clermont-Ferrand, 2007 - 2009. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2012. 4 p.

- [79] Besancenot JP, Laaidi M. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Agglomération de Dijon. Impact à court et long terme. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2007. 38 p.
- [80] Prouvost H, Declercq C. Estimation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique dans l'agglomération de Dunkerque. Lille: ORS Nord-Pas de Calais ; 2004.
- [81] Mahamoud Youssouf A. Faisabilité d'une évaluation d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine en Martinique. Rennes : Écoles des hautes études en santé publique - EHESP ; 2011.
- [82] Thabuis A, Fournier E. Impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération de Grenoble. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2006. 52 p.
- [83] Cire Centre-Ouest. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération de La Rochelle. 2002. 28 p.
- [84] Loyer S, Penven F. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine dans l'agglomération du Mans, 2007 - 2009. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2013. 8 p.
- [85] Janin C, Raguet S. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine sur les agglomérations de Nancy et Metz. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2011. 6 p.
- [86] Delisle E, Boutonnet F, Cochet A. Évaluation de l'impact sanitaire à court et long termes de la pollution atmosphérique urbaine dans les agglomérations de Montpellier, Nîmes et Perpignan. Languedoc-Roussillon, 2007-2009. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2013. 8 p.
- [87] Palanchon C, Pascal M, Corso M, Meffre C, Janin C. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine dans l'agglomération de Mulhouse, septembre 2012. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2012. 6 p.
- [88] Loyer S, Penven F. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine dans l'agglomération de Nantes, 2007 - 2009. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2013. 8 p.
- [89] Yemadje ML, Corbel C, Yahyaoui A, Jeannel D. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine dans l'agglomération d'Orléans, 2008 - 2010. Impact à court et à long terme. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2013. 4 p.
- [90] Cire Aquitaine. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Agglomérations de Périgueux. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2006.
- [91] Drass Champagne-Ardenne. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération de Reims PRQA de la région Champagne-Ardenne. 2001.
- [92] Guillois Y. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique (EIS-PA) urbaine sur l'agglomération rennaise, 2007 - 2009. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire ; 2013. 8 p.
- [93] Yvon JM, Huchet KC. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine dans l'agglomération de Saint-Étienne, 2009-2011. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2014. 8 p.
- [94] Fahet G. Évaluation de l'impact sanitaire à court-terme de la pollution atmosphérique urbaine dans l'agglomération tarbaise. Toulouse: Observatoire régional de la santé Midi-Pyrénées ; 2003. 48 p.

- [95] Yemadje ML, Corbel C, Yahyaoui A, Jeannel D. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine dans l'agglomération de Tours, 2008 - 2010. Impact à court et à long terme. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2013. 4 p.
- [96] Fournier E, Thabuis A. Impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération de Valence. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire; 2006. 41 p.
- [97] Jerrett M, Burnett RT, Pope CA, III, Ito K, Thurston G, Krewski D, *et al.* Long-term ozone exposure and mortality. *N Engl J Med* 2009;360(11):1085-95.
- [98] Pungler EM, West JJ. The effect of grid resolution on estimates of the burden of ozone and fine particulate matter on premature mortality in the United States. *Air Qual Atmos Health* 2013;6(3)
- [99] Thompson TM, Saari RK, Selin E. Air quality resolution for health impacts assessment: influence of regional characteristics. *Atmospheric chemistry and physics* 2013;13:14141-61.

Annexe 1 – Liste des EQIS réalisées dans les villes françaises

Pour chaque zone urbaine est mentionnée l'EQIS produite la plus récente.

Référence	Zone d'étude	Nombre de communes	Nombre d'habitants	Période d'étude
Balleydier <i>et al.</i> 2006 [65]	Agen	9	60 515	2002-2004
Pascal <i>et al.</i> 2011 [66]	Aix-en-Provence	4	160 418	2004-2006
Fahet <i>et al.</i> 2003 [67]	Albi	9	66 271	1999-2000
Masson 2006 [68]	Amiens	6	151 538	2000-2002
Belchior 2009 [69]	Angers	12	227 771	2005-2007
Rivière <i>et al.</i> 2005 [70]	Angoulême	8	84 109	2001-2002
Yvon <i>et al.</i> 2015 [71]	Annecy	10	136 090	2009-2011
Pascal <i>et al.</i> 2011 [66]	Avignon	10	179 122	2004-2006
Gault <i>et al.</i> , 2013 [72]	Bayonne	16	159 544	2007-2009
Delavelle <i>et al.</i> 2006 [73]	Besançon	1	117 691	1999-2001
Declercq <i>et al.</i> , 2012 [74]	Bordeaux	22	642 397	2008-2009
Guillois <i>et al.</i> 2016 [75]	Brest	4	161 554	2009-2010
Blanchard <i>et al.</i> 2014 [76]	Caen	23	206 000	2009-2010
Pascal <i>et al.</i> 2011 [77]	Cannes	7	261 281	2004-2006
Fougere <i>et al.</i> 2012 [78]	Clermont-Ferrand	8	213 403	2007-2009
Besancenot <i>et al.</i> 2007 [79]	Dijon	5	189 663	2000-2001
Prouvost <i>et al.</i> 2004 [80]	Dunkerque	19	212 000	1998-2000
Mahamoud Youssouf, 2011 [81]	Fort de France	4	170 691	2003-2008
Thabuis A <i>et al.</i> 2006[82]	Grenoble	45	459 001	1999-2000
Cire Centre-Ouest 2002 [83]	La Rochelle	5	101 390	2000-2001
Declercq C <i>et al.</i> 2012 [74]	Le Havre	16	245 461	2008-2009
Loyer <i>et al.</i> 2013 [84]	Le Mans	21	218 185	2007-2009
En cours de publication	Lens-Douai	32	328 000	2008-2010
En cours de publication	Lille	90	1 109 000	2008-2010
Declercq C <i>et al.</i> 2012 [74]	Lyon	19	1 012 715	2008-2009
Declercq C <i>et al.</i> 2012 [74]	Marseille	8	955 702	2008-2009
Cire Sud	Martigues	1	42 678	1996-1998
En cours de publication	Maubeuge	10	82 859	2008-2010
Janin <i>et al.</i> ,2013 [85]	Metz	17	191 238	2004-2005
Delisle <i>et al.</i> 2013 [86]	Montpellier	22	383 868	2007-2009
Palanchon <i>et al.</i> , 2012 [87]	Mulhouse	15	220 656	2008-2009
Janin <i>et al.</i> 2013 [85]	Nancy	38	332 595	2004-2005
Loyer <i>et al.</i> 2013 [88]	Nantes	27	594 452	2007-2009
Pascal <i>et al.</i> 2011 [66]	Nice	4	439 553	2004-2006
Delisle <i>et al.</i> 2013 [86]	Nîmes	9	172 968	2007-2009
Rivière <i>et al.</i> 2005 [70]	Niort	2	61 261	2001-2002
Yemadje <i>et al.</i> 2013 [89]	Orléans	10	240 000	2008-2010
Declercq <i>et al.</i> 2012 [74]	Paris	124	6 507 783	2008-2009

Gault <i>et al.</i> 2013 [72]	Pau	33	166 506	2007-2009
Provost D <i>et al.</i> 2006 [90]	Périgueux	5	52 948	2002-2004
Delisle <i>et al.</i> 2013 [86]	Perpignan	15	188 696	2007-2009
Rivière <i>et al.</i> , 2005 [70]	Poitiers	5	104 589	2001-2002
Plan régional de la qualité de l'air (PRQA) Champagne-Ardenne 2001 [91]	Reims	5	206 446	1995-1996
Guillois <i>et al.</i> 2013[92]	Rennes	4	239 412	2007-2009
Declercq <i>et al.</i> 2012 [74]	Rouen	43	446 382	2008-2009
Yvon <i>et al.</i> 2014 [93]	Saint-Etienne	33	400 198	2009-2011
Declercq <i>et al.</i> 2012 [74]	Strasbourg	20	440 264	2008-2009
Fahet <i>et al.</i> 2003 [94]	Tarbes	10	73 404	1999-2000
Pascal <i>et al.</i> 2011 [66]	Toulon	7	302 840	2004-2006
Declercq <i>et al.</i> 2012 [74]	Toulouse	51	744 284	2008-2009
Yemadje <i>et al.</i> 2013 [95]	Tours	7	242 000	2008-2010
Fournier <i>et al.</i> 2006 [96]	Valence	10	126 900	2009-2011
En cours de publication	Valenciennes	12	129 987	2008-2010

Annexe 2 – Synthèse de l'étude pilote

Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution de l'air à l'échelle d'une région

Bilan de l'étude de faisabilité et perspectives

A2.1. Contexte

Depuis les années 1990, de nombreuses études épidémiologiques ont documenté l'impact des polluants de l'air (particules fine (PM) et ozone notamment) à court et long termes sur la mortalité et la morbidité [2;4-7;97]. Une relation causale est désormais admise entre exposition aux particules fines [7] et à l'ozone [8] et impact sur la mortalité et la morbidité, permettant de simuler les bénéfices sanitaires attendus d'une baisse de la pollution grâce à la méthode de l'évaluation des impacts sanitaires (EQIS).

Alors que jusqu'à présent en France les EQIS étaient réservées aux grandes agglomérations disposant de stations de mesure de la qualité de l'air, la question se pose d'exploiter les données des modèles pour réaliser des EQIS sur la totalité du territoire d'une région. En effet, grâce au développement et à l'amélioration des modèles de la qualité de l'air ces dernières années, on peut aujourd'hui disposer de données environnementales d'exposition (PM et ozone notamment) en tout point du territoire, avec une résolution spatiale parfois fine. Ce niveau géographique est cohérent avec les grandes politiques de gestion de la qualité de l'air, et permet également de proposer des représentations cartographiques pour mieux visualiser les contrastes géographiques de l'exposition à la pollution et de ses impacts sanitaires.

Des EQIS à partir de données d'exposition modélisées ont d'ailleurs été réalisées sur l'ensemble de l'Europe (et non uniquement dans des villes). L'OMS a ainsi estimé en 2010 que 166 000 décès pourraient être évités chaque année en Europe de l'Ouest, dont 16 900 décès en France, si les niveaux de PM_{2.5} ne dépassaient pas 10 µg/m³ [12]. Le programme européen Cafe (Clean Air for Europe) a pour sa part estimé en 2000 que les particules d'origine anthropique étaient responsables de 350 000 décès anticipés par an en Europe, dont 42 000 décès prématurés en France attribués chaque année aux particules d'origine anthropique (soit 9,3 mois d'espérance de vie perdus en moyenne à 30 ans [11]). Ces différentes estimations européennes s'appuient sur des périodes, des données environnementales, et des scénarios différents. Dans le cas de Cafe les données de pollution sont issues du modèle de l'European Monitoring and Evaluation Programme (Emep), qui couvre l'Europe avec une maille de 50x50 km. Seules les particules d'origine anthropique sont prises en compte, et le scénario choisi correspond à une suppression de l'ensemble de ces particules [45]. L'OMS a pour sa part utilisé une combinaison de résultats de modèles, de mesures, et d'observations par satellites pour estimer les concentrations de l'ensemble des particules fines sur des mailles de 11x11 km, puis les ramener à la valeur guide de 10 µg/m³ [40]. Enfin, dans ces deux exemples, l'utilisation de modèles avec des mailles relativement larges peut *a priori* tendre à sous-estimer l'impact des particules fines, et à surestimer l'impact de l'ozone [98;99].

La faisabilité de telles EQIS en France a été étudiée à partir de données issues de deux régions pilotes, l'Ile-de-France et le Languedoc-Roussillon. Ces régions ont été choisies pour leurs contrastes en termes de population, de sources de pollution, de climat, de niveaux observés mais également de la disponibilité des données, afin que les conclusions de l'étude de faisabilité puissent être transposées à l'ensemble des régions françaises.

A2.2. Méthode

La méthode de l'EQIS à l'échelle d'une région a été adaptée à partir de la méthode initialement développée à l'échelle d'une agglomération [15]. Les bénéfices sanitaires attendus d'une baisse théorique de la pollution sont calculés à partir des niveaux de concentration modélisés des polluants, des données sanitaires observées, et de risques relatifs (RR) issues d'études épidémiologiques.

L'étude a été réalisée avec le soutien des associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (Airparif et Air-LR) et de l'Ineris, qui ont fourni les données environnementales et apporté leur expertise sur l'interprétation de ces données.

A2.2.1. Effets étudiés

L'étude pilote a été restreinte à une quantification des effets à long-terme des PM_{2.5} sur la mortalité toutes causes et cardiovasculaire des 30 ans et plus, et de l'ozone sur la mortalité respiratoire des 30 ans et plus. Ce choix a été motivé par plusieurs raisons :

- les effets à long-terme des PM_{2.5} sur la mortalité sont largement supérieurs aux effets à court-terme ;
- l'étude des effets à court-terme de l'ozone aurait été plus pertinente (relation C-R disponible plus robuste), mais les données environnementales nécessaires (données journalières) n'étaient pas disponibles.

A2.2.2. Données sanitaires

Les données de mortalité ont été obtenues auprès du Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès (CépiDC) pour la période 2008-2010.

Lorsqu'aucun décès n'est enregistré dans une commune pendant la période d'étude, le résultat de l'EQIS est nul dans cette commune. Pour les besoins de la représentation cartographique uniquement, les données de mortalité ont été lissées à l'aide d'une méthode Poisson-Gamma, qui permet un lissage modéré de la mortalité et de l'impact de la pollution tout en conservant les principaux contrastes géographiques. Cette manipulation ne modifie pas les impacts globaux par région, calculés à partir d'une mortalité non-lissée.

A2.2.3. Données d'exposition

Les données d'exposition testées dans cette étude pilote sont issues de quatre modèles différents : Prev'air (grille 10 km), Gazel-Air (grille 2 km), Airparif (grille 50 m), Airparif (grille 25 m uniquement pour Paris et la proche Couronne). Ces modèles sont construits sur des bases théoriques assez proches (modèles de chimie-transport Chimere) mais répondent à des objectifs différents : prévisions pour Prev'air, surveillance/reporting (incluant situation de fond et de proximité au trafic) pour Airparif, reconstruction de l'exposition pour des études épidémiologiques pour Gazel-Air. Comme Prev'air, Gazel-Air repose sur une modélisation chimie transport explicite à 10 km, mais elle bénéficie d'une descente d'échelle statistique à 2 km ainsi que d'une correction par rapport aux données de PM₁₀ (particules d'un diamètre inférieur à 10 micromètres). Seul le modèle d'Airparif intègre directement le trafic routier, ce qui rend bien compte des contrastes intra-urbains. Cependant, ces contrastes liés au trafic sont gommés lorsque l'on agrège les données à l'échelle de la commune pour les croiser aux données sanitaires qui ne sont pas disponibles à un niveau plus fin.

Les concentrations communales ont été estimées comme la moyenne des concentrations dans les mailles concernées pondérée par les surfaces de recouvrement. Lorsqu'une commune est entièrement incluse dans une maille de la grille, la concentration estimée de cette commune est celle de cette maille. Lorsqu'une commune se situe à l'intersection de plusieurs mailles, la concentration estimée correspond à une moyenne des concentrations de chaque maille pondérées par la surface de chaque maille du modèle recoupant le territoire de la commune. Cette méthode est valable tant que la résolution du modèle reste proche de la taille de la commune. Pour les mailles plus grandes (10 km), une interpolation a été réalisée.

Les données ont été collectées pour la période 2008-2010, à l'exception des données du modèle Gazel-Air qui couvrent la période 2006-2008. Pour les résultats Gazel-Air uniquement, les données sanitaires et environnementales ne portent donc pas sur la même période.

A2.2.4. Scénarios

Plusieurs scénarios de baisse des concentrations à différentes valeurs seuils ont été testés. Un premier scénario (ozone et PM) consiste à diminuer les concentrations de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quels que soient les niveaux de concentrations observées. Un second scénario (PM) consiste à ramener les concentrations à la valeur recommandée par l'OMS ; $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle. Enfin, plusieurs scénarios de baisse à des valeurs choisies arbitrairement ont été testés. Ces seuils sont nommés « concentrations contrefactuelles » dans la suite du document.

A2.2.5. Principales divergences par rapport à la méthode détaillée dans le guide EQIS

L'échelle géographique de base retenue pour cette étude est la commune, quelle que soit la taille de celle-ci. Ce choix a été principalement motivé par la disponibilité des données sanitaires (mortalité) à cette échelle. Une alternative aurait été de travailler sur les mailles de modèles de pollution de l'air, ce qui aurait nécessité d'estimer les données sanitaires à la même maille.

Le guide EQIS recommande de réaliser des EQIS dans des zones d'étude regroupant des communes homogènes du point de vue de la pollution et de l'activité des populations (par exemple, taux de déplacements travail-domicile entre communes) afin de pouvoir considérer que les personnes vivant dans la zone sont réellement exposées aux concentrations estimées. Dans cette étude pilote, en première intention, les calculs ont été faits pour chaque commune sans les regrouper. La comparaison des résultats obtenus en travaillant par commune ou par zone homogène a été réalisée uniquement pour Paris et la Petite Couronne. Dans ce cas, la zone homogène utilisée correspond à celle utilisée par le projet Aphekom et respectant les préconisations du guide EQIS.

Les communes rurales, ou sous forte influence industrielle, sont incluses dans l'EQIS, bien que la méthode ait été initialement conçue pour étudier les impacts de la pollution atmosphérique urbaine. Or, la comparabilité des pollutions particulières, et donc de l'impact sanitaire, entre zones rurales et zones industrielles d'une part, et zones urbaines d'autre part, reste discutable. Une recherche bibliographique a été menée pour essayer de sélectionner des relations C-R différentes pour ces zones, mais n'a pas été concluante. De fait, dans la littérature, les relations C-R issues d'études en zones urbaines sont appliquées à d'autres zones, faute d'alternative. Une autre possibilité aurait été de ne fournir des résultats que pour les communes urbaines, mais cela aurait pu être interprété comme une absence d'impact de la pollution dans les autres communes.

Selon le scénario choisi, les résultats de l'EQIS sont influencés par les niveaux de pollution, et par les niveaux de mortalité. Pour combiner cette information, dans les cartes, les résultats sont présentés sous la forme de SMR (Standardized Mortality Ratios – ratios standardisés de mortalité) évitables. Ces SMR ont été calculés en utilisant une standardisation indirecte. Une diminution des niveaux de polluants dans la région conduit à éviter, au niveau de la région, un certain nombre de décès pour

chaque classe d'âge. On peut utiliser ces décès évités pour estimer des taux de mortalité « évitée » par classe d'âge, et ainsi, un nombre de décès « attendus » pour chaque commune, compte tenu de sa structure démographique. Un ratio standardisé de mortalité « évitable » peut alors se calculer. Cet indice s'interprète comme le SMR : il est supérieur à 1 si le nombre de décès évités est plus important que celui auquel on s'attendrait en moyenne pour le scénario considéré.

A2.3. Résultats

A2.3.1. Données sanitaires

Les deux régions totalisent 93 955 décès en moyenne par an pendant la période d'étude.

Les décès pour lesquels la commune n'a pas pu être identifiée (code Insee erronés) n'ont pas été pris en compte dans l'étude mais cela ne concerne qu'un très faible effectif de ces décès, 81 en Ile-de-France et 7 en Languedoc-Roussillon.

Paris et la proche Couronne représentent 57 % de la mortalité toutes causes des plus de 30 ans en Ile-de-France. En Ile-de-France, la mortalité cardiovasculaire représente 24 % de la mortalité toutes causes, et la mortalité respiratoire 6 % de la mortalité toutes causes. Les proportions sont similaires en Languedoc-Roussillon (28 % pour la mortalité cardiovasculaire) (tableau 1).

Sur la période 2008-2010, un nombre important de communes n'a enregistré aucun décès pour causes cardiovasculaires (10 % en Ile-de-France, 13 % en Languedoc-Roussillon) et respiratoires (33 % en Ile-de-France et 44 % en Languedoc-Roussillon).

Tableau 1

Synthèse des données sanitaires – 2008-2010

	Île-de-France	Languedoc-Roussillon
Population (30 ans et plus)	6,9 millions	1,7 millions
Nombre de communes	1 300	1 545
Décès pour lesquels la commune n'a pas été identifiée	81	7
Communes sans décès enregistré	13	75
Communes sans décès enregistré pour causes cardiovasculaires	128	207
Communes sans décès enregistré pour causes respiratoires	435	687
Décès annuels moyens (30 ans et plus)	68 978	24 977
Décès cardiovasculaire annuels moyens (30 ans et plus)	16 654	7 038
Décès respiratoires annuels moyens (30 ans et plus)	4 173	1 578

A2.3.2. Données environnementales

La figure 1 représente la distribution des concentrations annuelles de PM_{2,5} en Ile-de-France selon les différents modèles utilisés. La moyenne annuelle régionale estimée par Prev'air est de 12 µg/m³, 14,5 µg/m³ pour Gazel-Air, et 15 µg/m³ pour Airparif.

Par rapport aux modèles Gazel-Air et Airparif, Prev'air tend à sous-estimer les concentrations en Grande Couronne, et à surestimer les concentrations dans Paris et la proche Couronne (tableau 2). On dispose de peu de stations mesurant les PM_{2,5}, en particulier en zone rurale. Sur Paris et la Petite

Couronne, en 2004-2006, la moyenne annuelle était de $16,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les stations urbaines [13]. La seule station rurale disponible depuis 2012 rapporte des niveaux de l'ordre de $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour 2013.

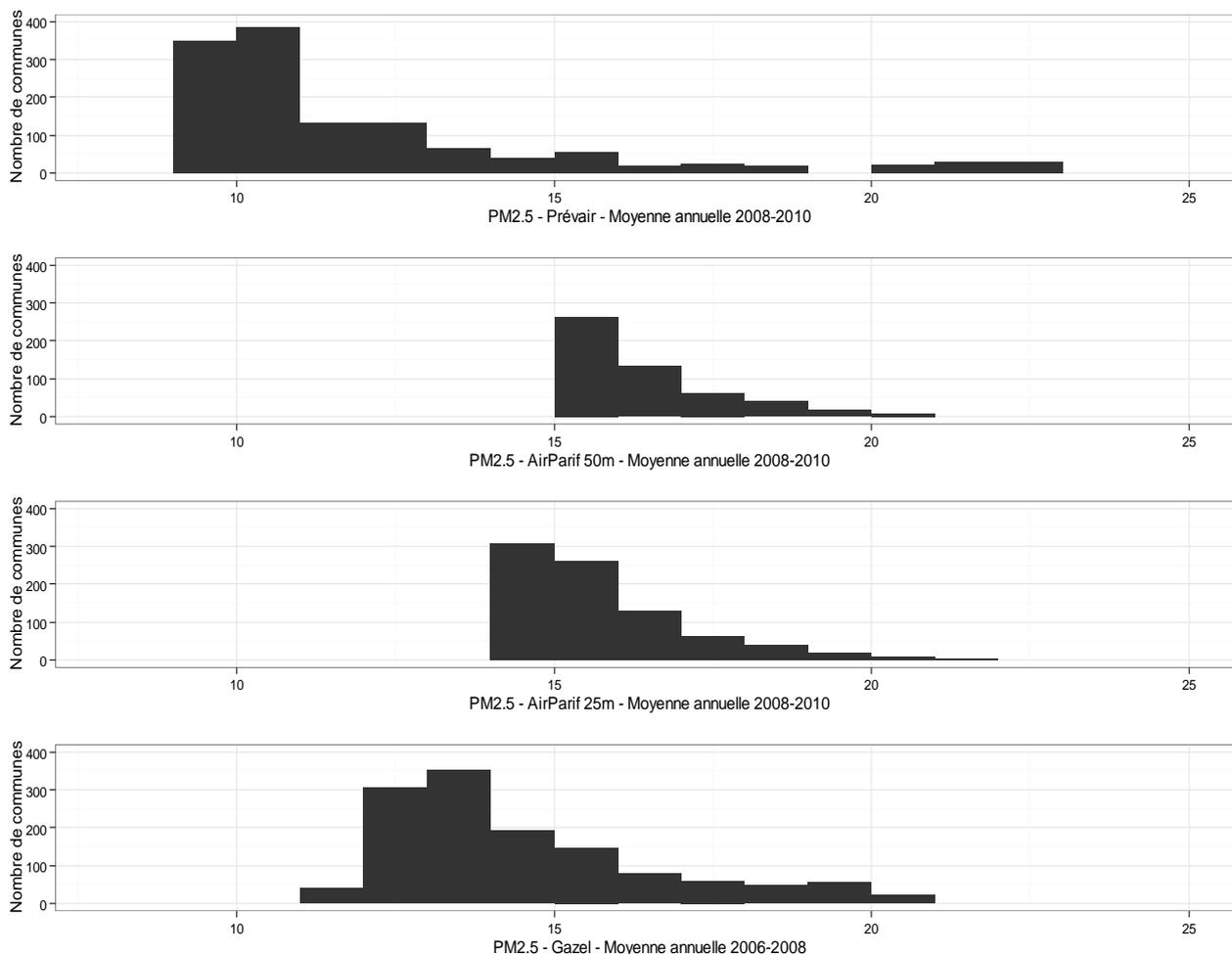
Les estimations Prev'air de concentrations annuelles de $\text{PM}_{2,5}$ sont également plus faibles en Languedoc-Roussillon: $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne régionale, vs $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour Gazel-Air (tableau 3). Les concentrations mesurées dans les plus grandes villes de la région sont en moyenne autour de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [86].

Pour l'ozone en moyenne estivale (Avril-Septembre), seules les données Gazel-Air sont disponibles. Les niveaux sont de $86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Ile-de-France, et $100,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Languedoc-Roussillon. La valeur observée pour Paris et la Petite Couronne en 2004-2006 était de $82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [13].

Les $\text{PM}_{2,5}$ se concentrent autour des zones urbaines et des grands axes routiers (figure 2), tandis que la distribution géographique de l'ozone est plus homogène (figure 3).

I Figure 1

Distribution des concentrations de $\text{PM}_{2,5}$ dans les communes d'Île-de-France pour Prévair, Airparif et Gazel-Air



I Tableau 2

Concentrations moyennes annuelles de PM_{2,5} et d'ozone en Île-de-France

	PM _{2,5} (moyenne annuelle 2008-2010) µg/m ³ Prev'air 10 km	PM _{2,5} (moyenne annuelle 2008-2010) µg/m ³ Airparif 50 m	PM _{2,5} (moyenne annuelle 2008-2010) µg/m ³ Airparif 25 m	Nombre de communes sans données Airparif 25 m	PM _{2,5} (moyenne annuelle 2006-2008) µg/m ³ Gazel-Air 2 km	Ozone (moyenne estivale 2006-2008) µg/m ³ GazelAir2 km
75	22	20	20	0	20	79
92	18	18	18	0	19	80
93	20	18	18	0	19	82
94	18	17	17	0	18	82
77	11	15	15	369	13,5	87
78	11	15	15	42	14	87
91	11,5	15	15,5	57	14	87
95	13	15	15,5	4	15	86

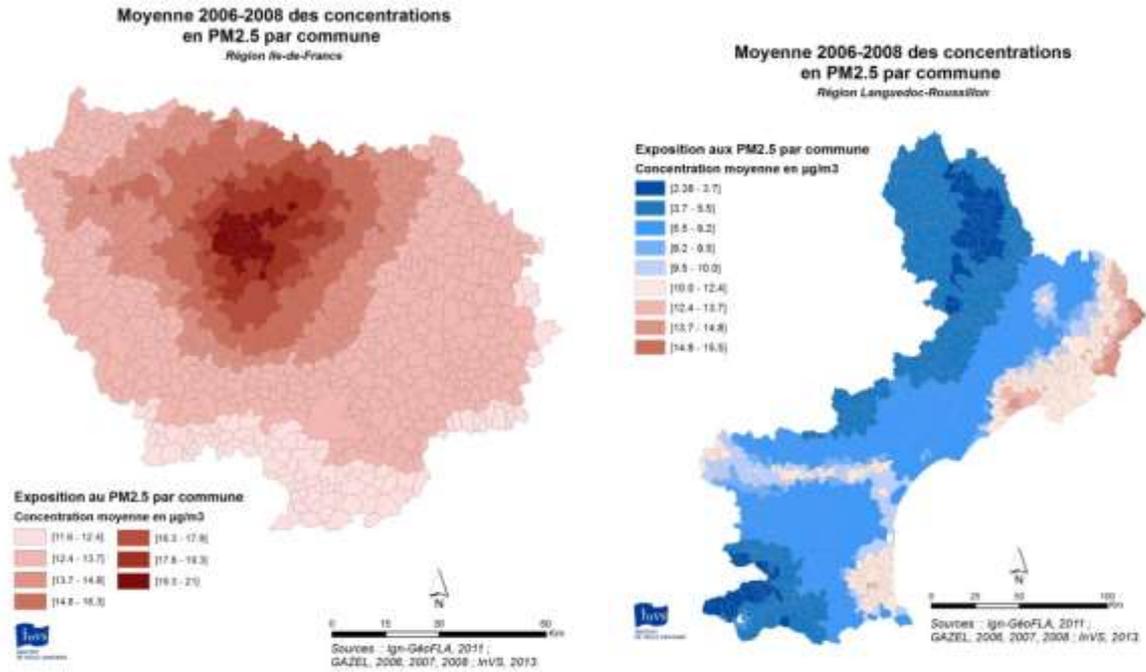
I Tableau 3

Concentrations moyennes annuelles de PM_{2,5} et d'ozone en Languedoc-Roussillon

	PM _{2,5} (moyenne annuelle 2008-2010) µg/m ³ – Prev'air 10 km	PM _{2,5} (moyenne annuelle 2006-2008) µg/m ³ – Gazel-Air 2 km	Ozone (moyenne estivale 2006-2008) µg/m ³ – Gazel-Air 2 km
11	6	8	98
30	6	9	104
34	6	8	101
48	4	4	97
66	6	7	102
Région	6	8	100,5

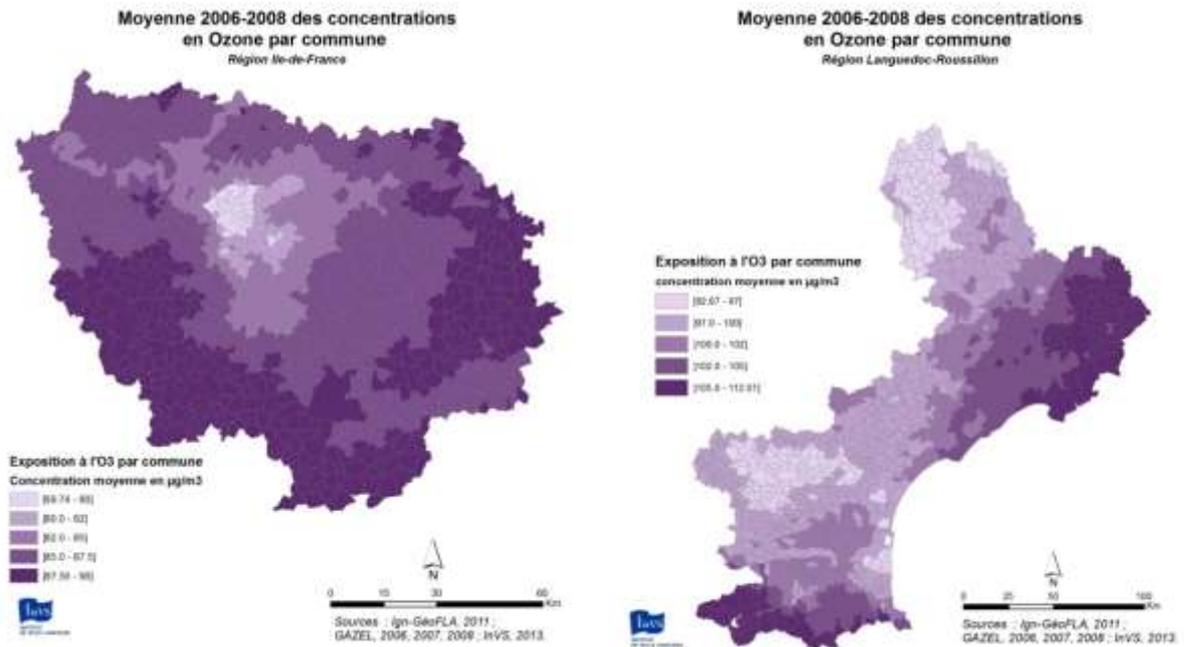
I Figure 2

Distributions spatiales des concentrations de PM_{2.5} - Gazel-Air



I Figure 3

Distributions spatiales des concentrations d’ozone – Gazel-Air



A.2.3.3. Impact sanitaire et influence des données environnementales ($PM_{2,5}$) sur l'EQIS ; illustration en Ile-de-France

Seuls les résultats de l'Île-de-France sont présentés ici, car cette région permet de comparer trois jeux de données. Le tableau 4 illustre l'influence du choix des données environnementales sur l'évaluation des bénéfices attendus pour une concentration contrefactuelle en $PM_{2,5}$ de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur guide OMS).

Si les résultats des EQIS pour les différents modèles sont proches en cumulé à l'échelle de la région, les disparités géographiques sont importantes, avec un gradient rural – urbain exacerbé par les données Prev'air. Ainsi, dans le scénario de baisse à $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ à partir des données Prev'air, 82 % des décès évités se situent dans Paris et la proche couronne, 70 % avec Gazel-Air, et 65 % avec Airparif à 50 m.

I Tableau 4

Mortalité (toutes causes) annuelle moyenne retardée en Île-de-France pour un scénario de baisse des $PM_{2,5}$ à $10\mu\text{g}/\text{m}^3$

	Prev'air	Airparif 50 m	Gazel-Air
Paris + Petite couronne	2 265 [786 : 3 958]	1 864 [644 : 3 274]	2 087 [722 : 3 629]
75	902 [314 : 1 573]	744 [257 : 1 303]	791 [274 : 1 385]
92	449 [155 : 788]	435 [150 : 764]	484 [167 : 849]
93	490 [170 : 857]	368 [127 : 646]	413 [143 : 725]
94	423 [147 : 741]	318 [110 : 560]	399 [138 : 701]
Grande couronne	481 [165 : 851]	993 [341 : 1 754]	904 [311 : 1 598]
77	71 [24 : 125]	234 [80 : 414]	195 [67 : 345]
78	119 [41 : 211]	273 [94 : 482]	237 [81 : 419]
91	109 [37 : 194]	238 [82 : 420]	231 [79 : 408]
95	182 [63 : 322]	248 [85 : 437]	241 [83 : 426]
Région	2 746 [951 : 4 809]	2 857 [985 : 5 028]	2 992 [1033 : 5 257]

A.2.3.4. Comparaison avec les résultats d'Aphekom (Île-de-France)

Les résultats du projet européen [Aphekom](#) diffèrent des résultats de cette étude par la période d'étude, (2004-2006 vs 2006-2008), l'utilisation de données mesurées par les stations urbaines vs des données modélisées et la prise en compte des communes. Dans Aphekom, les communes de la zone d'étude forment un tout au sein duquel l'exposition est jugée homogène. Il s'agit en particulier de regroupements de communes dont la pollution est jugée homogène du point de vue des sources, de la topographie, etc. et dans lesquels il y a un taux importants de déplacements travail-domicile. L'exposition est estimée en moyenne sur l'ensemble des communes. Dans cette étude, chaque commune est considérée isolément, puis les résultats sont sommés.

Pour Paris et la Petite Couronne, les résultats Aphekom (7) estimaient 1 422 [489 ; 2 511] décès évités à partir des concentrations mesurées par les stations urbaines [13], pour un scénario de baisse des $PM_{2,5}$ à $10\mu\text{g}/\text{m}^3$. À partir des données Gazel-Air, en réalisant le calcul en moyenne sur la même

zone, on estime que 1 971 [681 ; 3 459] décès pourraient être évités chaque année. En réalisant le calcul sur chaque commune séparément, on estime le nombre de décès évités annuellement à 2 087 [722 ; 3 629].

Ces calculs peuvent donner une idée de l'ordre de grandeur des incertitudes supplémentaires de cette étude par rapport à l'étude Aphekom : environ 40 % de différence due à l'utilisation de données modélisées au lieu de mesures (les concentrations de PM_{2.5} mesurées en 2004-2006 étant par ailleurs sous-estimées par la méthode de mesure TEOM non-corrigé, même en prenant en compte un facteur de correction), et environ 8 % de différence due au calcul commune par commune vs zone homogène. Ces incertitudes demeurent globalement très inférieures à celles introduites par l'intervalle de confiance de la relation C-R.

La comparaison avec les résultats de l'ozone est moins intéressante, car le seul scénario comparable concerne une baisse de 5 µg/m³. Dans un tel scénario où la baisse est fixe, les variations des résultats sont le reflet des variations de la mortalité. Les résultats Aphekom sont ainsi très proches des résultats Gazel-Air (27 [7 :44] décès évités par an vs 26 [7 :43], l'écart est dû uniquement à l'utilisation de périodes d'études différentes).

A.2.3.5. Synthèse des résultats obtenus avec les données Gazel-Air

Seuls les résultats utilisant les données Gazel-Air sont présentés ici. Comme il n'est pas possible d'identifier un « meilleur » modèle parmi les trois sources testées, le modèle Gazel-Air a été sélectionné car les données (PM_{2.5} et ozone) sont disponibles pour les deux régions, et parce que la caractérisation des expositions à des fins épidémiologiques était l'objectif premier de ce modèle.

La figure A2-4 illustre la distribution géographique des bénéfices attendus pour un scénario de baisse des PM_{2.5} à 10 µg/m³ en Ile-de-France. Aucune commune d'Ile-de-France ne respecte cette valeur, et près de 3 000 décès pourraient être évités chaque année dans ce scénario, dont 2 000 à Paris et dans la proche couronne. Par contraste, seuls 16 % des communes de Languedoc-Roussillon dépassent cette valeur, ce qui représente 125 décès qui pourraient être évités annuellement. Près de la moitié de ces décès seraient dus à des causes cardiovasculaires. Pour une concentration contrefactuelle de 7 µg/m³, proche de la valeur utilisée par le Global Burden of Disease (GBD) pour estimer le poids de la pollution sur la santé publique (entre 5,8 et 8,5 µg/m³ selon la région), on retarderait près de 4 100 décès chaque année en Ile-de-France (3000 à Paris et dans la Petite Couronne), et 430 en Languedoc-Roussillon.

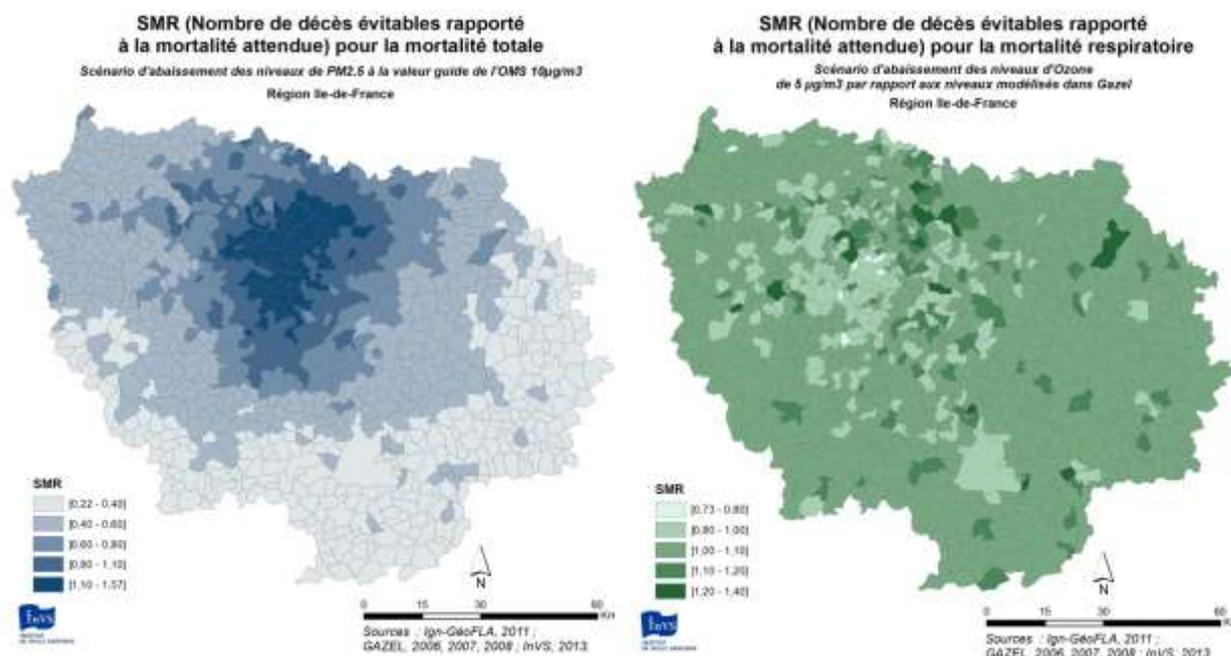
Des bénéfices importants peuvent également être attendus pour des baisses moins ambitieuses. Par exemple, 80 % des communes de Paris et la proche couronne dépassent 18 µg/m³ pour les PM_{2.5}. Atteindre cette valeur, i.e. une baisse de 1 à 2 µg/m³ selon la commune, retarderait plus de 300 décès chaque année.

Les bénéfices associés à une diminution des niveaux d'ozone sont plus faibles : par exemple, si les concentrations étaient ramenées à 70 µg/m³, une soixantaine de décès respiratoires seraient évités chaque année dans chacune des deux régions.

La figure A2-5 est un exemple de cartographie.

I Figure 4

Décès évitables (SMR - Standardised Mortality Ratio) rapportés à la mortalité attendue pour une baisse des niveaux de pollution en Ile-de-France (à partir de données de mortalité lissées)



Un SMR supérieur à 1 dans une commune indique que dans cette commune l'effet de la pollution de l'air est plus fort que dans les autres communes de la région. Ceci peut être dû à des concentrations plus élevées ou à une mortalité plus élevée.

A.2.4. Conclusions

Les EQIS portent un message essentiel : les niveaux de polluants actuellement observés dans l'atmosphère sont associés à des risques pour la santé publique, et toute diminution de l'exposition aux polluants serait bénéfique à l'échelle de la population.

Cette étude pilote a permis de développer et de tester les différentes étapes permettant d'évaluer les impacts sanitaires de la pollution à l'échelle communale dans deux régions françaises à partir de modèles de la pollution atmosphérique, et de cartographier les résultats.

Plusieurs sources utilisant des données et des méthodes déjà anciennes (programme européen Cafe, OMS, etc.) fournissent des évaluations de l'impact de la pollution France entière qui continuent d'être repris et parfois opposés dans les médias. Il y a un fort intérêt à produire une estimation solide et actualisée. Suite à cette étude pilote, l'objectif de l'InVS est donc de réaliser des EQIS pour l'ensemble des régions françaises, à l'aide d'une méthode et de données harmonisées, permettant de comparer les régions entre elles, et de sommer leurs résultats pour obtenir une estimation France entière. Pour cela, les données environnementales modélisées pour la cohorte Gazel-Air seront utilisées. Ces données sont disponibles pour l'ensemble de la France métropolitaine (hors Corse), à une résolution de 2 km, jusqu'en 2008. La période d'étude sera restreinte à 2007-2008 (l'année 2006 ayant connu une surmortalité dans certaines régions du fait de la canicule, et pour permettre des comparaisons avec des données mesurées par la méthode TEOM-FDMS déployée à partir de 2007).

Le protocole s'appuiera sur cette étude pilote, mais les grandes agglomérations seront traitées en « zones homogènes » d'exposition, en utilisant les regroupements de communes déjà définis dans le cadre des travaux du Psas (Programme de surveillance air et santé). Les données mesurées par les stations de mesure dans ces zones seront également utilisées pour compléter les données modélisées. Ceci permettra une meilleure comparabilité avec les EQIS déjà existantes dans ces agglomérations.

Deux scénarios seront privilégiés : une baisse à la valeur guide de l'OMS, et une baisse à la valeur correspondant au 5^e percentile de la distribution du polluant sur toute la France continentale. L'EQIS portera sur les impacts à long-terme des PM_{2.5} et de l'ozone sur la mortalité.

Les outils de calculs développés à cette occasion seront conçus pour être facilement mis à jour, en fonction des évolutions futures des relations C-R et de la disponibilité de nouvelles données environnementales (par exemple réré-analyse Prévoir à haute résolution, base de données du projet PATer ([Pollution atmosphérique sur le territoire français](#), etc.).

Annexe 3 – Méthode de calcul de l'impact de la pollution sur l'espérance de vie à 30 ans

Les données de mortalité et de population sont recueillies par classes d'âge de 5 ans à partir de 30 ans.

La table de mortalité abrégée est construite selon une méthode classique décrite ci-dessous.

Le taux de mortalité dans chaque classe d'âge noté nM_x est calculé selon :

où
$${}^nM_x = \frac{{}^nD_x}{{}^nN_x * Y}$$

Y est le nombre d'années avec des données de santé utilisées pour le calcul de l'EQIS

x est l'âge de début de chaque classe

n est l'étendue de chaque classe, ici 5 ans

nN_x est la population totale observée dans chaque classe d'âge pour la période d'étude

nD_x est le nombre de décès observés dans chaque classe d'âge sommés sur les Y années.

La somme de nD_x sur toutes les classes d'âge donne le nombre total de décès observés.

On calcule ensuite la probabilité de décès dans chaque classe d'âge, définie comme

$${}^nq_x = \frac{n * {}^nM_x}{1 + (n - n_{ax}) * {}^nM_x}$$

où n_{ax} est le nombre moyen d'années vécues dans la classe d'âge par les personnes décédées dans cette classe d'âge, estimé par $n/2$.

Pour la dernière classe d'âge (par ex ≥ 85 ans), ${}^nq_x = 1$, puisque toutes les personnes de cette classes vont mourir un jour.

L'espérance de vie à 30 ans est calculée à partir d'une cohorte hypothétique de 100 000 personnes âgées de 30 ans.

Si l_x est le nombre de personnes vivantes dans une classe d'âge, le nombre de personnes vivantes dans la classe d'âge suivantes est défini par :

$$l_{x+n} = l_x * (1 - {}^nq_x)$$

et le nombre de personnes décédées dans la classe d'âge nd_x est défini par :

$${}^nd_x = l_x * {}^nq_x$$

Pour la première classe d'âge, $l_x = 100\ 000$

Dans chaque classe d'âge sauf la dernière, on distingue les personnes qui survivront à cette classe d'âge et les personnes qui décéderont dans cette classe d'âge. Le nombre de personnes-années de chaque classe d'âge est alors approximé par :

$$L_x = nM_x + \frac{l_x}{2}$$

Pour la dernière classe d'âge :

$$L_x = \frac{l_x}{2}$$

T_x est le nombre de personnes années dans la cohorte hypothétique, qui vivront après avoir atteint l'âge x

$$T_x = T_{x+n} + L_x$$

e_{30} est l'espérance de vie à 30 ans calculée selon

$$e_{30} = \frac{T_{30}}{l_{30}}$$

On calcule de la même manière une table de mortalité abrégée à partir du nombre de décès qui serait observés dans chaque classe d'âge si la pollution de l'air était différente, calculés selon :

$${}_n D_x^{\text{impacté}} = {}_n D_x * e^{-\Delta x * \beta}$$

où Δx est la baisse du niveau de pollution.

β est la pente de la relation exposition – risque. Pour un RR exprimé pour une augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

$$\beta = \frac{\ln(RR)}{10}$$

Le gain en espérance de vie à 30 ans est alors calculé comme la différence entre l'espérance de vie obtenue à partir de la mortalité observée, et celle obtenue à partir de la mortalité qui serait observée si la pollution était différente :

$$G = e_{30}^{\text{impacté}} - e_{30}$$

Et le nombre de décès évité chaque année est la différence entre la somme de ${}_n D_x$ sur toutes les classes d'âge et la somme de ${}_n D_x^{\text{impacté}}$ sur toutes les classes d'âges, rapportée aux nombres d'années utilisées.

Annexe 4 – Impacts des PM_{2.5} sur la mortalité - détail par régions

I Tableau 1 I

Nombre de communes par classes d'urbanisation et par nouvelles régions de France continentale (2008)

	Rurales	<20 000 habitants	20 000 – 100 000 habitants	>100 000 habitants	Total sur l'ensemble des communes
Alsace, Champagne-Ardenne et Lorraine	4 344	495	195	152	5 186
Aquitaine, Limousin et Poitou-Charentes	3 774	399	143	189	4 505
Auvergne et Rhône-Alpes	3 059	545	254	331	4 189
Basse-Normandie et Haute-Normandie	2 751	289	102	90	3 232
Bourgogne et Franche-Comté	3 464	226	93	47	3 830
Bretagne	919	242	83	25	1 269
Centre	1 541	200	46	55	1 842
Île-de-France	636	165	68	431	1 300
Languedoc-Roussillon et Midi-Pyrénées	3 834	475	134	121	4 564
Nord-Pas-de-Calais et Picardie	2 942	399	156	340	3 837
Pays-de-la-Loire	1 164	247	28	63	1 502
Provence-Alpes-Côte-d'Azur	580	165	34	184	963

I Tableau 2 I

Population par classe d'urbanisation et par nouvelles régions de France continentale (2007-2008)

	Rurales	<20 000 habitants	20 000 - 100 000 habitants	>100 000 habitants	Total sur l'ensemble des communes
Alsace, Champagne-Ardenne et Lorraine	1 555 761	1 206 427	1 003 352	1 745 909	5 511 449
Aquitaine, Limousin et Poitou-Charentes	1 977 907	1 060 767	808 368	1 801 628	5 648 670
Auvergne et Rhône-Alpes	1 675 637	1 316 426	1 195 718	3 245 600	7 433 377
Basse-Normandie et Haute-Normandie	1 211 105	648 226	520 013	906 381	3 285 724
Bourgogne et Franche-Comté	1 197 251	563 546	555 051	482 227	2 798 074
Bretagne	971 897	946 964	592 329	622 547	3 133 737
Centre	862 634	591 481	462 585	613 458	2 530 158
Île-de-France	421 250	511 308	368 010	10 319 581	11 620 148
Languedoc-Roussillon et Midi-Pyrénées	1 426 261	1 340 390	998 565	1 629 571	5 394 786
Nord-Pas-de-Calais et Picardie	1 236 393	926 905	979 721	2 784 373	5 927 392
Pays-de-la-Loire	1 083 489	931 625	323 779	1 157 608	3 496 500
Provence-Alpes-Côte-d'Azur	2 814 87	658 602	448 742	3 484 342	4 873 171

I Tableau 3 I

Décès toutes causes à 30 ans et plus par classe d'urbanisation et par nouvelles régions de France continentale (2007-2008)

	Rurales	<20 000 habitants	20 000 - 100 000 habitants	>100 000 habitants	Total sur l'ensemble des communes
Alsace, Champagne-Ardenne et Lorraine	12 500	11 153	8 910	13 295	45 857
Aquitaine, Limousin et Poitou-Charentes	20 956	12 228	8 277	14 331	55 792
Auvergne et Rhône-Alpes	14 242	11 746	10 335	22 721	59 043
Basse-Normandie et Haute-Normandie	9 503	7 274	5 052	7 344	29 173
Bourgogne et Franche-Comté	11 272	6 213	5 405	3 509	26 397
Bretagne	9 271	9 828	6 185	4 633	29 916
Centre	8 186	6 729	4 304	4 454	23 673
Île-de-France	2 628	3 545	2 576	59 205	67 953
Languedoc-Roussillon et Midi-Pyrénées	14 355	14 299	10 114	10 870	49 637
Nord-Pas-de-Calais et Picardie	10 045	9 102	9 131	23 393	51 671
Pays-de-la-Loire	8 434	8 791	2 952	8 716	28 892
Provence-Alpes-Côte-d'Azur	2 588	6 347	3 915	31 520	44 369

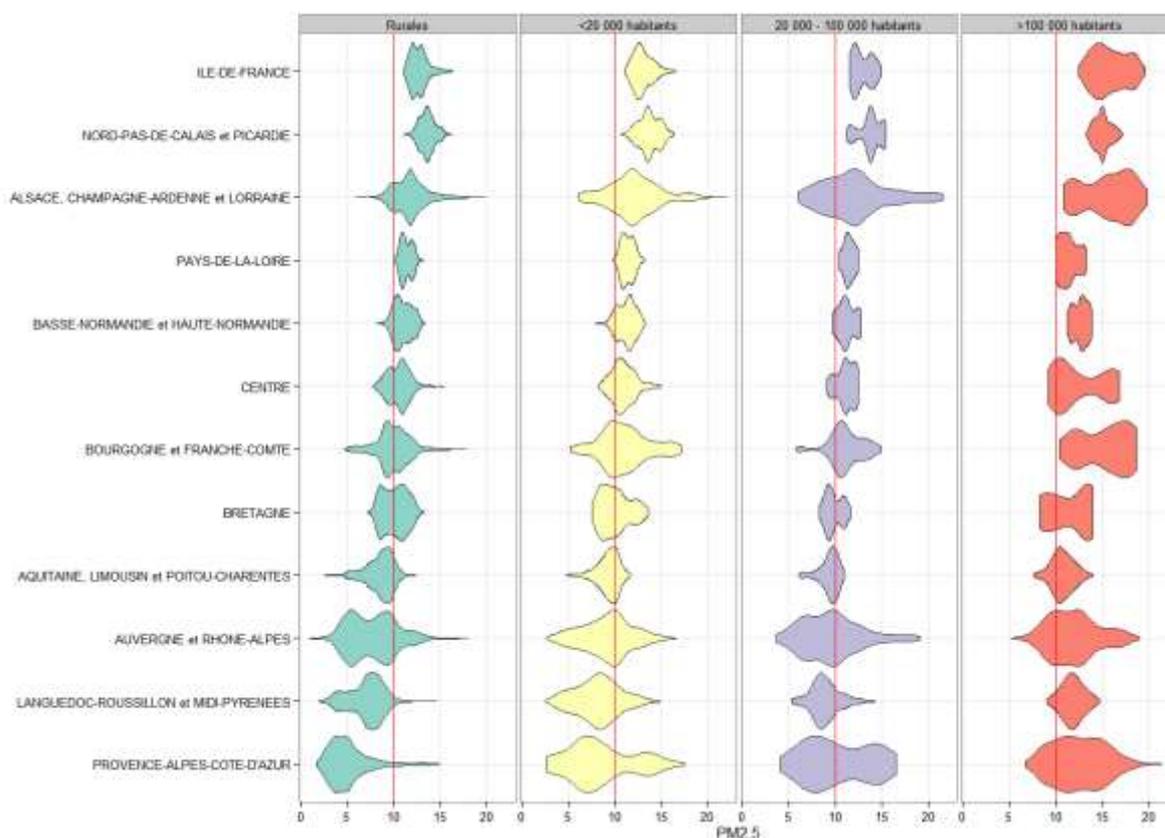
I Tableau 4 I

Concentrations de PM_{2,5} moyennes (min, max) par classes d'urbanisation et par nouvelles régions de France continentale (2008) (µg/m³)

	Rurales	<20 000 habitants	20 000 - 100 000 habitants	>100 000 habitants	Moyenne sur l'ensemble des communes
Alsace, Champagne-Ardenne et Lorraine	11,7 [5,8 :19,9]	12,1 [6,1 :22,1]	12,2 [5,9 :21,7]	15,5 [10,8 :19,8]	11,9 [5,8 : 22,1]
Aquitaine, Limousin et Poitou-Charentes	8,5 [2,6 :12,4]	9,3 [4,8 :11,8]	9,4 [6,2:11,0]	10,7 [7,6 :14,0]	8,7 [2,6 : 14]
Auvergne et Rhône-Alpes	7,7 [0,9 :18,0]	9,2 [2,8 :16,6]	9,6 [3,6 :19,2]	11,9 [5,2 :19,1]	8,3 [0,9 : 19,2]
Basse-Normandie et Haute-Normandie	11,0 [8,2 :13,4]	11,2 [8,0 :13,2]	11,2 [9,7 :12,8]	12,6 [11,2 :13,9]	11 [8 : 13,9]
Bourgogne et Franche-Comté	10,0 [4,8 :17,8]	11,1 [5,2 :17,3]	11,2 [5,8 :15,0]	15,3 [10,4 :18,7]	10,1 [4,8 : 18,7]
Bretagne	10,1 [7,2 :13,3]	10,0 [7,6 :13,7]	9,8 [8,2 :11,7]	11,5 [8,2 :13,9]	10,1 [7,2 : 13,9]
Centre	10,5 [7,8 :15,3]	11,0 [8,3 :14,9]	11,1 [9,1 :12,4]	12,5 [9,2 :16,9]	10,6 [7,8 : 16,9]
Ile-de-France	12,7 [11,0 :16,3]	13,1 [11,1 :16,6]	12,9 [11,6 :15,0]	15,8 [12,4 :19,6]	13,8 [11 : 19,6]
Languedoc-Roussillon et Midi-Pyrénées	7,0 [2,0 :14,6]	8,2 [2,5 :14,9]	8,9 [5,3 :14,3]	11,8 [9,0 :14,7]	7,3 [2 : 14,9]
Nord-Pas-de-Calais et Picardie	13,6 [11,0 :16,3]	13,7 [10,6 :16,4]	13,7 [11,2 :15,5]	15,0 [13,3 :17,1]	13,7 [10,6 : 17,1]
Pays-de-la-Loire	11,4 [10,0 :13,1]	11,4 [9,9 :13,2]	11,5 [10,4 :12,5]	11,4 [9,9 :13,3]	11,4 [9,9 : 13,3]
Provence-Alpes-Côte-d'Azur	5,1 [1,6 :14,9]	8,5 [2,6 :17,6]	10,2 [4,0 :16,6]	12,5 [6,6 :21,4]	7,3 [1,6 : 21,4]

I Figure 1 I

Distribution des concentrations de PM_{2.5} par région, selon l'urbanisation. La ligne rouge représente la valeur guide de l'OMS.



I Tableau 5 I

Nombre de décès évitables par classe d'urbanisation et par nouvelles régions de France continentale – Scénario « sans pollution » (2007-2008)

	Rurales	<20 000 habitants	20 000 – 100 000 habitants	>100 000 habitants	Total sur l'ensemble des communes
Alsace, Champagne-Ardenne et Lorraine	1 155 [417 : 1 788]	1 056 [383 : 1 632]	942 [343 : 1 447]	1 849 [679 : 2 822]	5 001 [1 821 : 7 688]
Aquitaine, Limousin et Poitou-Charentes	1 048 [373 : 1 644]	711 [254 : 1 113]	522 [187 : 817]	1 248 [450 : 1 937]	3 529 [1 262 : 5 510]
Auvergne et Rhône-Alpes	610 [218 : 953]	667 [239 : 1 040]	694 [250 : 1 078]	2 413 [878 : 3 713]	4 382 [1 584 : 6 783]
Basse-Normandie et Haute-Normandie	761 [273 : 1 185]	602 [217 : 937]	428 [154 : 665]	781 [283 : 1 207]	2 571 [926 : 3 991]
Bourgogne et Franche-Comté	786 [282 : 1 226]	463 [167 : 720]	532 [192 : 826]	443 [162 : 679]	2 223 [801 : 3 450]
Bretagne	634 [227 : 990]	655 [235 : 1 023]	414 [148 : 647]	382 [138 : 592]	2 084 [746 : 3 252]
Centre	600 [215 : 935]	527 [189 : 821]	343 [123 : 533]	477 [174 : 734]	1 945 [700 : 3 022]
Ile-de-France	272 [99 : 420]	379 [138 : 586]	267 [97 : 413]	9 332 [3 445 : 14 171]	10 249 [3 777 : 15 588]
Languedoc-Roussillon et Midi-Pyrénées	486 [173 : 765]	723 [258 : 1 131]	558 [199 : 874]	1 101 [398 : 1 701]	2 866 [1 027 : 4 470]
Nord-Pas-de-Calais et Picardie	1 157 [421 : 1 782]	1 050 [382 : 1 617]	1 037 [377 : 1 597]	3 289 [1 204 : 5 033]	6 532 [2 382 : 10 028]
Pays-de-la-Loire	724 [261 : 1 126]	766 [276 : 1 191]	259 [93 : 402]	785 [283 : 1 218]	2 533 [911 : 3 935]
Provence-Alpes-Côte-d'Azur	53 [19 : 83]	351 [127 : 546]	289 [105 : 448]	3 891 [1 422 : 5 963]	4 584 [1 671 : 7 038]

I Tableau 6 I

Gain moyen en espérance de vie à 30 ans (mois) – Scénario « sans pollution » (2007-2008)

	Rurales	<20 000 habitants	20 000 – 100 000 habitants	>100 000 habitants	Moyenne sur l'ensemble des communes
Alsace, Champagne-Ardenne et Lorraine	12 [5 : 20]	13 [5 : 20]	13 [5 : 21]	19 [7 : 31]	13 [5 : 20]
Aquitaine, Limousin et Poitou-Charentes	7 [3 : 10]	8 [3 : 13]	8 [3 : 13]	11 [4 : 17]	7 [3 : 11]
Auvergne et Rhône-Alpes	5 [2 : 8]	8 [3 : 12]	9 [3 : 13]	12 [5 : 20]	6 [3 : 10]
Basse-Normandie et Haute-Normandie	11 [4 : 18]	12 [4 : 19]	12 [4 : 19]	14 [5 : 23]	11 [4 : 18]
Bourgogne et Franche-Comté	9 [4 : 14]	11 [4 : 17]	11 [4 : 18]	18 [7 : 29]	9 [4 : 15]
Bretagne	9 [4 : 15]	9 [4 : 15]	9 [4 : 15]	12 [4 : 19]	9 [4 : 15]
Centre	10 [4 : 16]	11 [4 : 18]	12 [4 : 18]	14 [5 : 22]	11 [4 : 17]
Ile-de-France	14 [5 : 22]	15 [5 : 23]	14 [5 : 23]	20 [7 : 33]	16 [6 : 26]
Languedoc-Roussillon et Midi-Pyrénées	4 [2 : 7]	6 [2 : 10]	7 [3 : 12]	12 [4 : 19]	5 [2 : 7]
Nord-Pas-de-Calais et Picardie	16 [6 : 25]	16 [6 : 26]	17 [6 : 26]	19 [7 : 31]	16 [6 : 26]
Pays-de-la-Loire	12 [4 : 18]	12 [4 : 18]	12 [5 : 19]	12 [4 : 19]	12 [4 : 18]
Provence-Alpes-Côtes-d'Azur	2 [1 : 3]	7 [3 : 11]	10 [4 : 15]	13 [5 : 21]	5 [2 : 8]

I Tableau 7 I

Années de vie perdues par classe d'urbanisation et par nouvelles régions de France continentale – Scénario « sans pollution » (2007-2008)

	Rurales	<20 000 habitants	20 000 – 100 000 habitants	>100 000 habitants	Total sur l'ensemble des communes
Alsace, Champagne-Ardenne et Lorraine	17 783 [6 177 : 28 545]	14 686 [5 100 : 23 587]	14 849 [5 151 : 23 878]	40 448 [13 994 : 65 229]	87 765 [30 419 : 141 238]
Aquitaine, Limousin et Poitou- Charentes	11 454 [3 987 : 18 342]	6 850 [2 384 : 10 971]	5 990 [2 085 : 9 596]	23 739 [8 238 : 38 139]	48 033 [16 692 : 77 047]
Auvergne et Rhône-Alpes	9 406 [3 271 : 15 078]	8 795 [3 058 : 14 104]	10 248 [3 559 : 16 456]	55 695 [19 263 : 89 814]	84 143 [29 150 : 135 451]
Basse-Normandie et Haute- Normandie	12 019 [4 181 : 19 260]	6 495 [2 259 : 10 411]	6 004 [2 090 : 9 616]	14 436 [5 016 : 23 168]	38 952 [13 545 : 62 453]
Bourgogne et Franche-Comté	9 501 [3 306 : 15 223]	4 796 [1 669 : 7 686]	6 640 [2 310 : 10 645]	9 627 [3 334 : 15 507]	30 563 [10 617 : 49 059]
Bretagne	9 107 [3 170 : 14 586]	7 560 [2 631 : 12 110]	4 803 [1 674 : 7 685]	8 707 [3 025 : 13 975]	30 176 [10 499 : 48 354]
Centre	7 816 [2 718 : 12 530]	5 467 [1 901 : 8 767]	5 285 [1 838 : 8 473]	10 231 [3 542 : 16 485]	28 797 [9 996 : 46 254]
Île-de-France	4 859 [1 686 : 7 808]	7 116 [2 467 : 11 445]	5 636 [1 956 : 9 053]	318 390 [10 9471 : 516 702]	335 999 [11 5579:545 006]
Languedoc-Roussillon et Midi-Pyrénées	5 534 [1 928 : 8 857]	7 936 [2 763 : 12 710]	6 437 [2 242 : 10 304]	27 488 [9 524 : 44 239]	47 394 [16454 : 76108]
Nord-Pas-de-Calais et Picardie	18 690 [6 497 : 29 985]	14 138 [4 915 : 22 678]	16 633 [5 779 : 26 695]	62 142 [21 550 : 99 946]	111 601 [38 740 : 179 302]
Pays-de-la-Loire	13 337 [4 638 : 21 382]	9 616 [3 344 : 15 417]	3 497 [1 215 : 5 613]	14 838 [5 154 : 23 815]	41 287 [14 350 : 66 226]
Provence-Alpes-Côte-d'Azur	651 [227 : 1 042]	4 067 [1 413 : 6 529]	4 166 [1 443 : 6 706]	59 033 [20 436 : 95 131]	67 915 [23 517 : 109 407]

I Tableau 8 I

Nombre de décès évitables par classe d'urbanisation et par nouvelles régions de France continentale – Scénario « communes équivalentes les moins polluées » (2007-2008)

	Rurales	<20 000 habitants	20 000 – 100 000 habitants	>100 000 habitants	Total sur l'ensemble des communes
Alsace, Champagne-Ardenne et Lorraine	1 155 [417 : 1 788]	928 [335 : 1 439]	762 [276 : 1 177]	1 141 [412 : 1 767]	3 984 [1 439 : 6 169]
Aquitaine, Limousin et Poitou-Charentes	1 048 [373 : 1 644]	567 [202 : 890]	347 [123 : 546]	451 [160 : 710]	2 413 [857 : 3 789]
Auvergne et Rhône-Alpes	610 [218 : 953]	540 [193 : 845]	490 [176 : 765]	1 177 [423 : 1 833]	2 816 [1 008 : 4 395]
Basse-Normandie et Haute-Normandie	761 [273 : 1 185]	518 [186 : 808]	323 [116 : 506]	375 [133 : 589]	1 975 [707 : 3 085]
Bourgogne et Franche-Comté	786 [282 : 1 226]	391 [140 : 610]	404 [145 : 631]	253 [91 : 394]	1 833 [657 : 2 859]
Bretagne	634 [227 : 990]	539 [192 : 845]	284 [101 : 446]	132 [47 : 207]	1 590 [566 : 2 488]
Centre	600 [215 : 935]	448 [161 : 701]	253 [90 : 396]	231 [83 : 360]	1 531 [548 : 2 390]
Île-de-France	272 [99 : 420]	339 [123 : 525]	215 [78 : 335]	6 243 [2 263 : 9 635]	7 068 [2 561 : 10 914]
Languedoc-Roussillon et Midi-Pyrénées	486 [173 : 765]	559 [199 : 877]	349 [124 : 550]	495 [176 : 778]	1 888 [671 : 2 968]
Nord-Pas-de-Calais et Picardie	1 157 [421 : 1 782]	948 [343 : 1 465]	854 [308 : 1 324]	1 992 [716 : 3 100]	4 950 [1 787 : 7 669]
Pays-de-la-Loire	724 [261 : 1 126]	665 [238 : 1 037]	198 [71 : 309]	293 [104 : 463]	1 879 [673 : 2 933]
Provence-Alpes- Côte-d'Azur	53 [19 : 83]	284 [102 : 442]	215 [78 : 334]	2 188 [787 : 3 403]	2 739 [984 : 4 260]

I Tableau 9I

Gain moyen en espérance de vie à 30 ans (mois) – Scénario « communes équivalentes les moins polluées » (2007-2008)

	Rurales	<20 000 habitants	20 000 – 100 000 habitants	>100 000 habitants	Moyenne sur l'ensemble des communes
Alsace, Champagne-Ardenne et Lorraine	12 [5 : 20]	11 [4 : 18]	11 [4 : 17]	12 [4 : 18]	12 [5 : 19]
Aquitaine, Limousin et Poitou-Charentes	7 [3 : 10]	7 [3 : 10]	6 [2 : 9]	3 [1 : 5]	7 [3 : 10]
Auvergne et Rhône-Alpes	5 [2 : 8]	6 [3 : 10]	6 [2 : 9]	5 [2 : 8]	6 [2 : 9]
Basse-Normandie et Haute-Normandie	11 [4 : 18]	10 [4 : 16]	9 [3 : 14]	7 [3 : 10]	11 [4 : 17]
Bourgogne et Franche-Comté	9 [4 : 14]	10 [4 : 15]	9 [3 : 14]	11 [4 : 17]	9 [4 : 15]
Bretagne	9 [4 : 15]	8 [3 : 12]	6 [3 : 10]	5 [2 : 7]	9 [3 : 14]
Centre	10 [4 : 16]	10 [4 : 15]	9 [3 : 14]	6 [3 : 10]	10 [4 : 16]
Ile-de-France	14 [5 : 22]	13 [5 : 21]	12 [4 : 18]	13 [5 : 20]	13 [5 : 21]
Languedoc-Roussillon et Midi-Pyrénées	4 [2 : 7]	5 [2 : 8]	5 [2 : 7]	5 [2 : 7]	4 [2 : 7]
Nord-Pas-de-Calais et Picardie	16 [6 : 25]	15 [6 : 24]	14 [5 : 22]	11 [4 : 18]	15 [6 : 24]
Pays-de-la-Loire	12 [4 : 18]	10 [4 : 16]	9 [4 : 14]	4 [2 : 7]	11 [4 : 17]
Provence-Alpes-Côte-d'Azur	2 [1 : 3]	6 [2 : 9]	7 [3 : 11]	6 [3 : 10]	4 [2 : 5]

Années de vie perdues par classe d'urbanisation et par nouvelles régions de France continentale – Scénario « communes équivalentes les moins polluées » (2007-2008)

	Rurales	<20 000 habitants	20 000 – 100 000 habitants	>100 000 habitants	Total sur l'ensemble des communes
Alsace, Champagne-Ardenne et Lorraine	17 783 [6 177 : 28 545]	13 053 [4 535 : 20 951]	11 801 [4 098 : 18 953]	24 463 [8 492 : 39 290]	67 098 [23 300 : 107 737]
Aquitaine, Limousin et Poitou-Charentes	11 454 [3 987 : 18 342]	5 582 [1 944 : 8 935]	3 924 [1 367 : 6 280]	8 802 [3 065 : 14 090]	29 762 [103 61 : 47 645]
Auvergne et Rhône-Alpes	9 406 [3 271 : 15 078]	7 259 [2 525 : 11 634]	7 213 [2 507 : 11 572]	28 094 [9 750 : 45 127]	51 971 [18 052 : 83 409]
Basse-Normandie et Haute-Normandie	12 019 [4 181 : 19 260]	5 632 [1 960 : 9 023]	4 503 [1 569 : 7 204]	6 705 [2 336 : 10 726]	28 857 [10 045 : 46 211]
Bourgogne et Franche-Comté	9 501 [3 306 : 15 223]	4 091 [1 424 : 6 553]	5 020 [1 748 : 8 039]	5 298 [1 842 : 8 498]	23 909 [8 318 : 38 312]
Bretagne	9 107 [3 170 : 14 586]	6 381 [2 222 : 10 216]	3 255 [1 135 : 5 205]	3 384 [1 179 : 5 417]	22 126 [7 704 : 35 423]
Centre	7 816 [2 718 : 12 530]	4 717 [1 641 : 7 559]	3 881 [1 351 : 6 214]	5 181 [1 799 : 8 318]	21 593 [7 507 : 34 619]
Ile-de-France	4 859 [1 686 : 7 808]	6 406 [2 222 : 10 294]	4 497 [1 563 : 7 213]	20 7257 [71 655 : 334 214]	223 017 [77 125 : 359 527]
Languedoc-Roussillon et Midi-Pyrénées	5 534 [1 928 : 8 857]	6 415 [2 234 : 10 268]	3 971 [1 384 : 6 351]	12 932 [4 497 : 20 725]	28 850 [10 042 : 46 200]
Nord-Pas-de-Calais et Picardie	18 690 [6 497 : 29 985]	12 795 [4 450 : 20 511]	13 503 [4 696 : 21 645]	36 808 [12 802 : 58 994]	81 794 [28 444 : 131 133]
Pays-de-la-Loire	13 337 [4 638 : 21 382]	8 381 [2 916 : 13 428]	2 655 [924 : 4 255]	5 542 [1 931 : 8 864]	29 914 [10 408 : 47 928]
Provence-Alpes-Côte-d'Azur	651 [227 : 1 042]	3 376 [1 173 : 5 418]	3 114 [1 080 : 5 007]	33 309 [11 569 : 53 466]	40 448 [14 047 : 64 931]

I Tableau 11 I

Nombre de décès évitables par classe d'urbanisation et par nouvelles régions de France continentale – Scénario « OMS » (2007-2008)

	Rurales	<20 000 habitants	20 000 – 100 000 habitants	>100 000 habitants	Total sur l'ensemble des communes
Alsace, Champagne-Ardenne et Lorraine	339 [121 : 533]	352 [126 : 552]	384 [138 : 597]	1 004 [362 : 1 559]	2 077 [744 : 3 240]
Aquitaine, Limousin et Poitou-Charentes	16 [6 : 25]	24 [9 : 37]	21 [8 : 33]	317 [112 : 500]	378 [133 : 593]
Auvergne et Rhône-Alpes	64 [23 : 101]	101 [36 : 159]	138 [49 : 215]	982 [352 : 1 532]	1 283 [459 : 2 007]
Basse-Normandie et Haute-Normandie	126 [45 : 199]	114 [40 : 180]	87 [31 : 138]	296 [105 : 467]	622 [220 : 982]
Bourgogne et Franche-Comté	104 [37 : 164]	89 [32 : 139]	122 [43 : 192]	217 [78 : 338]	529 [188 : 831]
Bretagne	65 [23 : 103]	67 [24 : 106]	23 [9 : 37]	101 [36 : 159]	257 [93 : 406]
Centre	75 [27 : 119]	84 [30 : 133]	57 [20 : 90]	184 [66 : 288]	400 [142 : 629]
Ile-de-France	98 [35 : 154]	145 [52 : 229]	97 [35 : 152]	5 648 * [2 040 : 8 742]	5 986 [2 160 : 9 276]
Languedoc-Roussillon et Midi-Pyrénées	9 [4 : 15]	63 [23 : 100]	30 [11 : 47]	380 [135 : 598]	481 [171 : 758]
Nord-Pas-de-Calais et Picardie	500 [178 : 786]	455 [162 : 715]	439 [156 : 689]	1 742 [624 : 2 720]	3 136 [1 119 : 4 908]
Pays-de-la-Loire	155 [55 : 245]	173 [61 : 275]	60 [21 : 95]	200 [71 : 316]	587 [207 : 929]
Provence-Alpes-Côte-d'Azur	8 [3 : 12]	85 [30 : 132]	87 [31 : 136]	1 873 [672 : 2 920]	2 051 [735 : 3 199]

I Tableau 12 I

Gain moyen en espérance de vie à 30 ans (mois) – Scénario « OMS » (2007-2008)

	Rurales	<20 000 habitants	20 000 – 100 000 habitants	>100 000 habitants	Moyenne sur l'ensemble des communes
Alsace, Champagne-Ardenne et Lorraine	4 [2 : 7]	6 [2 : 9]	7 [3 : 11]	10 [4 : 16]	5 [2 : 7]
Aquitaine, Limousin et Poitou-Charentes	1 [1 : 2]	1 [1 : 2]	1 [1 : 2]	3 [1 : 4]	2 [1 : 2]
Auvergne et Rhône-Alpes	3 [1 : 5]	3 [1 : 5]	5 [2 : 8]	6 [2 : 9]	4 [2 : 6]
Basse-Normandie et Haute-Normandie	3 [1 : 4]	3 [1 : 5]	3 [1 : 4]	5 [2 : 8]	3 [1 : 4]
Bourgogne et Franche-Comté	3 [1 : 4]	5 [2 : 7]	3 [1 : 5]	9 [4 : 15]	3 [1 : 5]
Bretagne	2 [1 : 3]	3 [1 : 4]	2 [1 : 3]	5 [2 : 7]	3 [1 : 4]
Centre	3 [1 : 4]	3 [1 : 4]	3 [1 : 5]	6 [2 : 9]	3 [1 : 4]
Ile-de-France	5 [2 : 8]	6 [2 : 9]	6 [2 : 9]	11 [4 : 18]	7 [3 : 11]
Languedoc-Roussillon et Midi-Pyrénées	2 [1 : 3]	3 [1 : 4]	3 [1 : 4]	4 [2 : 6]	3 [1 : 4]
Nord-Pas-de-Calais et Picardie	7 [3 : 11]	7 [3 : 11]	7 [3 : 11]	10 [4 : 15]	7 [3 : 11]
Pays-de-la-Loire	3 [1 : 4]	3 [1 : 4]	3 [1 : 5]	3 [1 : 4]	3 [1 : 4]
Provence-Alpes-Côte-d'Azur	4 [2 : 6]	6 [2 : 9]	6 [3 : 10]	6 [3 : 10]	6 [2 : 9]

I Tableau 13 I

Années de vie perdues par classe d'urbanisation et par nouvelles régions de France continentale – Scénario « OMS » (2007-2008)

	Rurales	<20 000 habitants	20 000 – 100 000 habitants	>100 000 habitants	Total sur l'ensemble des communes
Alsace, Champagne-Ardenne et Lorraine	5437 [1894 : 8702]	5154 [1794 : 8253]	5606 [1949 : 8988]	21416 [7439 : 34374]	37612 [13075 : 60316]
Aquitaine, Limousin et Poitou-Charentes	216 [76 : 345]	278 [97 : 443]	263 [92 : 420]	6264 [2182 : 10022]	7021 [2446 : 11229]
Auvergne et Rhône-Alpes	1177 [410 : 1882]	1408 [491 : 2253]	2249 [783 : 3605]	23541 [8174 : 37790]	28374 [9857 : 45529]
Basse-Normandie et Haute-Normandie	2181 [761 : 3484]	1287 [449 : 2056]	1290 [450 : 2060]	5229 [1823 : 8361]	9985 [3482 : 15960]
Bourgogne et Franche-Comté	1526 [532 : 2440]	1052 [367 : 1682]	1647 [574 : 2633]	4474 [1556 : 7171]	8697 [3028 : 13923]
Bretagne	1192 [416 : 1904]	1123 [392 : 1794]	292 [102 : 465]	2674 [932 : 4279]	5279 [1840 : 8441]
Centre	1211 [423 : 1936]	1029 [359 : 1644]	955 [333 : 1527]	4232 [1470 : 6792]	7426 [2584 : 11897]
Ile-de-France	1739 [606 : 2783]	2813 [979 : 4503]	2059 [718 : 3294]	186151 [64420 : 299856]	192760 [66722 : 310434]
Languedoc-Roussillon et Midi-Pyrénées	140 [49 : 224]	942 [329 : 1506]	376 [132 : 602]	10173 [3540 : 16294]	11631 [4049 : 18624]
Nord-Pas-de-Calais et Picardie	7811 [2723 : 12493]	5978 [2084 : 9561]	6793 [2367 : 10866]	31973 [11126 : 51216]	52554 [18298 : 84134]
Pays-de-la-Loire	2890 [1008 : 4619]	2119 [739 : 3386]	853 [297 : 1363]	3793 [1322 : 6064]	9653 [3366 : 15429]
Provence-Alpes-Côte-d'Azur	98 [35 : 157]	1041 [363 : 1667]	1383 [481 : 2218]	28559 [9924 : 45813]	31080 [10801 : 49854]

I Tableau 14 I

Nombre et pourcentage de décès évitables pour les différents scénarios et par nouvelles régions de France continentale – Scénario « OMS » (2007-2008)

	Sans pollution anthropique		Communes équivalentes les moins polluées		OMS	
	Nombre de décès évitables	% de décès évitables	Nombre de décès évitables	% de décès évitables	Nombre de décès évitables	% de décès évitables
Alsace, Champagne-Ardenne et Lorraine	5 001 [1 821 : 7 688]	11 [4 : 17]	3 984 [1 439 : 6 169]	9 [3 : 13]	2 077 [744 : 3 240]	5 [2 : 7]
Aquitaine, Limousin et Poitou-Charentes	3 529 [1 262 : 5 510]	6 [2 : 10]	2 413 [857 : 3 789]	4 [2 : 7]	378 [133 : 593]	1 [0 : 1]
Auvergne et Rhône-Alpes	4 382 [1 584 : 6 783]	7 [3 : 11]	2 816 [1 008 : 4 395]	5 [2 : 7]	1 283 [459 : 2 007]	2 [1 : 3]
Basse-Normandie et Haute-Normandie	2 571 [926 : 3 991]	9 [3 : 14]	1 975 [707 : 3 085]	7 [2 : 11]	622 [220 : 982]	2 [1 : 3]
Bourgogne et Franche-Comté	2 223 [801 : 3 450]	8 [3 : 13]	1 833 [657 : 2 859]	7 [2 : 11]	529 [188 : 831]	2 [1 : 3]
Bretagne	2 084 [746 : 3 252]	7 [2 : 11]	1 588 [566 : 2 487]	5 [2 : 8]	256 [91 : 404]	1 [0 : 1]
Centre	1 945 [700 : 3022]	8 [3 : 13]	1 531 [548 : 2 390]	6 [2 : 10]	400 [142 : 629]	2 [1 : 3]
Ile-de-France	10 249 [3 777 : 15 588]	15 [6 : 23]	7 068 [2 561 : 10 914]	10 [4 : 16]	5 986 [2 160 : 9 276]	9 [3 : 14]
Languedoc-Roussillon et Midi-Pyrénées	2 866 [1 027 : 4 470]	6 [2 : 9]	1 888 [671 : 2 968]	4 [1 : 6]	481 [171 : 758]	1 [0 : 2]
Nord-Pas-de-Calais et Picardie	6 532 [2 382 : 10 028]	13 [5 : 19]	4 950 [1 787 : 7 669]	10 [3 : 15]	3 136 [1 119 : 4 908]	6 [2 : 9]
Pays-de-la-Loire	2 533 [911 : 3 935]	9 [3 : 14]	1 879 [673 : 2 933]	7 [2 : 10]	587 [207 : 929]	2 [1 : 3]
Provence-Alpes-Côte-d'Azur	4 584 [1 671 : 7 038]	10 [4 : 16]	2 739 [984 : 4260]	6 [2 : 10]	2 051 [735 : 3 199]	5 [2 : 7]

Annexe 5 - Impacts de l'exposition chronique aux particules fines par régions et département

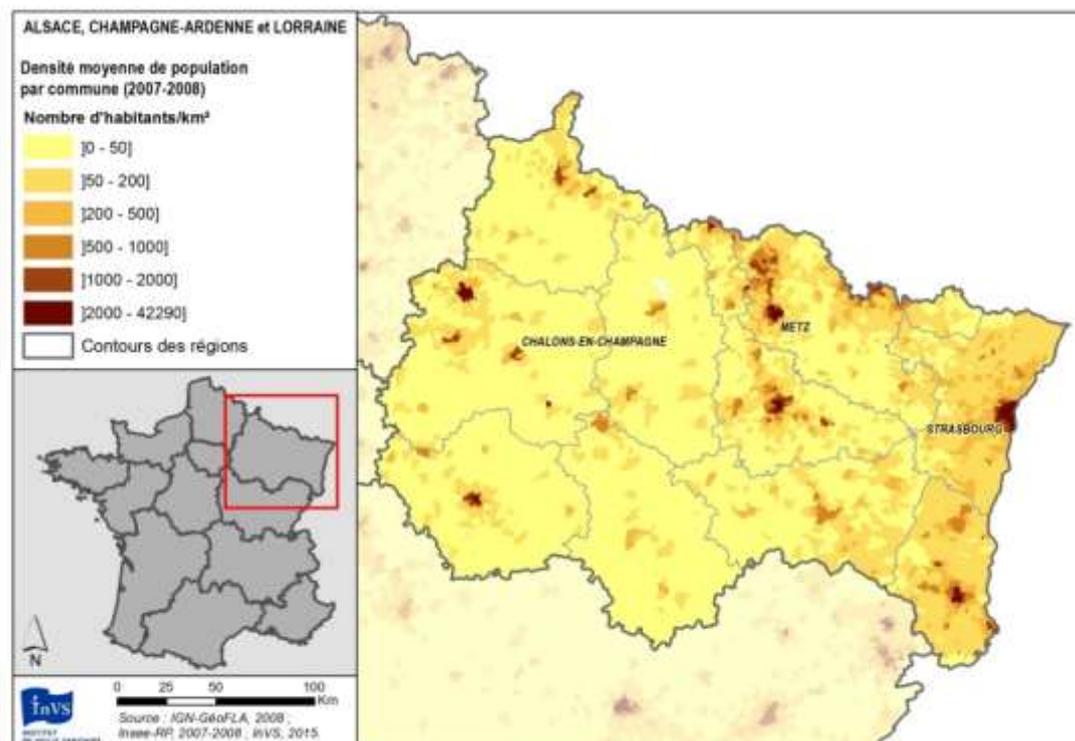
1. Alsace, Champagne-Ardenne, Lorraine

I Tableau 1 I

Nombre de communes, populations (tous âges et 30 ans et plus), mortalité totale 30 ans et plus (effectif et taux pour 100 000 habitants)

	Nombre de communes	Population totale	Population âgée de 30 ans et plus	Mortalité totale (30 ans et plus)	Mortalité totale pour 100 000 habitants (30 ans et plus)
Alsace	904	1 830 749	1 143 212	13 401	1 172
Bas-Rhin (67)	527	1 087 387	672 283	7 873	1 171
Haut-Rhin (68)	377	743 362	470 930	5 529	1 174
Champagne-Ardenne	1 949	1 339 115	842 454	12 173	1 445
Ardennes (08)	463	284 511	180 627	2 644	1 464
Aube (10)	433	301 258	192 155	2 811	1 463
Haute-Marne (51)	433	186 893	123 412	2 012	1 630
Marne (52)	620	566 453	346 260	4 707	1 359
Lorraine	2 333	2 341 586	1 475 313	20 284	1 375
Meurthe-et-Moselle (54)	594	727 636	444 260	5 988	1 348
Meuse (55)	494	193 900	124 389	1 894	1 522
Moselle (57)	730	1 040 205	658 945	8 646	1 312
Vosges (88)	515	379 846	247 719	3 757	1 517

I Figure 1 I



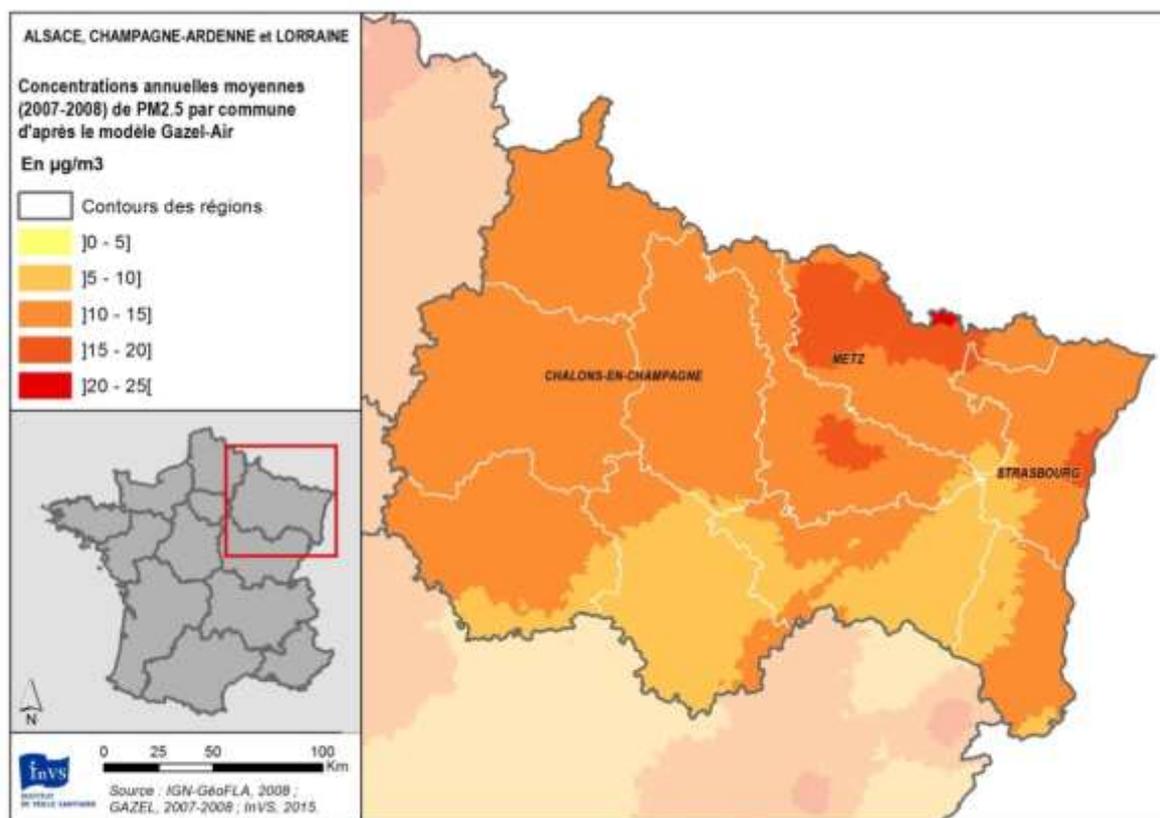
Densité de population (habitants/km²)

I Tableau 2 I

Concentrations annuelles moyennes de PM_{2.5} et population exposée à plus de 10, 15 et 20 µg/m³ en moyenne annuelle au cours de la période 2007-2008

	Concentration annuelle moyenne de PM _{2.5}			Population exposée à plus		
	Ensemble de la zone µg/m ³	Commune la moins exposée µg/m ³	Commune la plus exposée µg/m ³	de 10 µg/m ³ en moyenne annuelle	de 15 µg/m ³ en moyenne annuelle	de 20 µg/m ³ en moyenne annuelle
Alsace	11,7	6,0	16,7	1 634 254	469 238	0
Bas-Rhin (67)	12,4	7,6	16,7	1 041 486	469 238	0
Haut-Rhin (68)	10,7	6,0	13,6	592 768	0	0
Champagne-Ardenne	11,2	8,6	14,1	1 191 961	0	0
Ardennes (08)	11,9	10,8	13,1	284 511	0	0
Aube (10)	10,7	9,3	11,8	272 868	0	0
Haute-Marne (51)	9,7	8,6	11,5	68 130	0	0
Marne (52)	12,1	10,9	14,1	566 453	0	0
Lorraine	12,5	5,8	22,1	2 053 811	1 158 869	66 230
Meurthe-et-Moselle (54)	12,9	8,8	18,5	724 304	319 072	0
Meuse (55)	11,4	9,8	13,2	193 195	0	0
Moselle (57)	15,1	9,3	22,1	1 036 250	839 797	66 230
Vosges (88)	9,6	5,8	11,1	100 063	0	0

I Figure 2 I



Concentrations annuelles moyennes de PM_{2.5} (moyenne 2007-2008, µg/m³)

I Tableau 3 |

Nombre de décès évitables sous les différents scénarios

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Alsace	1 395 [506 : 2 151]	1 043 [375 : 1 622]	541 [193 : 848]	47 [17 : 75]	0
Bas-Rhin (67)	928 [338 : 1 426]	723 [261 : 1 122]	419 [150 : 656]	47 [17 : 75]	0
Haut-Rhin (68)	467 [168 : 725]	320 [114 : 500]	121 [43 : 192]	0	0
Champagne-Ardenne	1 105 [398 : 1 714]	877 [314 : 1 367]	297 [105 : 469]	0	0
Ardennes (08)	243 [87 : 377]	216 [77 : 335]	65 [23 : 104]	0	0
Aube (10)	228 [82 : 356]	156 [56 : 244]	39 [14 : 62]	0	0
Haute-Marne (51)	496 [180 : 766]	383 [137 : 595]	185 [65 : 291]	0	0
Marne (52)	138 [49 : 215]	122 [44 : 192]	8 [3 : 13]	0	0
Lorraine	2 501 [916 : 3 822]	2 064 [750 : 3 180]	1 239 [446 : 1 922]	356 [126 : 560]	9 [3 : 15]
Meurthe-et-Moselle (54)	765 [279 : 1 172]	615 [222 : 950]	379 [136 : 591]	62 [22 : 98]	0
Meuse (55)	163 [59 : 254]	151 [54 : 234]	36 [13 : 56]	0	0
Moselle (57)	1 358 [502 : 2 060]	1 130 [413 : 1 729]	820 [297 : 1 267]	295 [105 : 463]	9 [3 : 15]
Vosges (88)	215 [77 : 337]	169 [60 : 266]	5 [2 : 8]	0	0

I Tableau 4 |

Gain moyen en espérance de vie à 30 ans (mois)

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Alsace	12 [4 : 18]	11 [4 : 17]	4 [2 : 7]	1 [1 : 2]	0
Bas-Rhin (67)	13 [5 : 20]	12 [4 : 19]	5 [2 : 8]	1 [1 : 2]	0
Haut-Rhin (68)	10 [4 : 16]	9 [4 : 15]	3 [2 : 5]	0	0
Champagne-Ardenne	12 [4 : 18]	11 [4 : 18]	3 [2 : 5]	0	0
Ardennes (08)	13 [5 : 21]	13 [5 : 21]	4 [2 : 6]	0	0
Aube (10)	10 [4 : 16]	10 [4 : 16]	2 [1 : 3]	0	0
Haute-Marne (51)	13 [5 : 21]	13 [5 : 20]	4 [2 : 6]	0	0
Marne (52)	9 [3 : 14]	9 [3 : 13]	1 [1 : 2]	0	0
Lorraine	14 [5 : 22]	13 [5 : 21]	6 [2 : 9]	4 [2 : 6]	2 [1 : 3]
Meurthe-et-Moselle (54)	15 [5 : 23]	14 [5 : 22]	6 [2 : 9]	3 [1 : 4]	0
Meuse (55)	12 [4 : 19]	12 [4 : 19]	3 [1 : 4]	0	0
Moselle (57)	18 [7 : 29]	17 [6 : 28]	9 [4 : 15]	4 [2 : 6]	1 [1 : 2]
Vosges (88)	9 [3 : 14]	8 [3 : 13]	1 [1 : 1]	0	0

* Les communes équivalentes les moins polluées sont définies à l'échelle de la France, et peuvent donc se trouver dans une autre région.

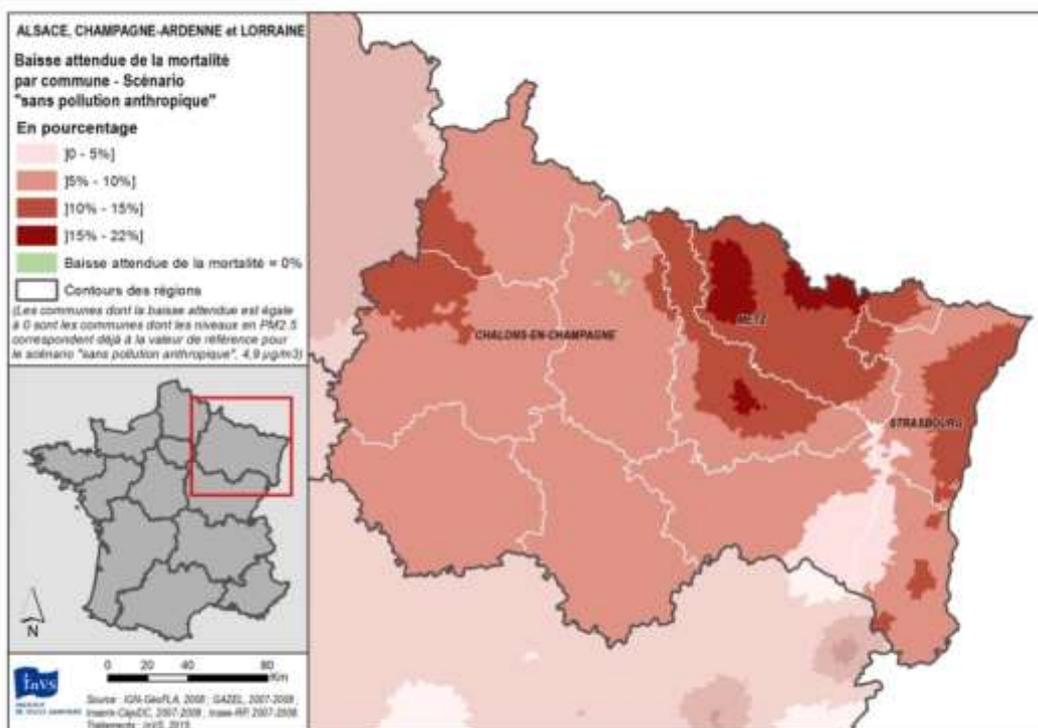
I Tableau 5 I

Nombre total d'années de vie gagnées

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Alsace	27 919	20 000	11 224	1 162	0
	[9 683 : 44 891]	[6 951 : 32 082]	[3 906 : 17 976]	[405 : 1 857]	
Bas-Rhin (67)	19 116	14 061	8 868	1 162	0
	[6 626 : 30 758]	[4 885 : 22 562]	[3 085 : 14 210]	[405 : 1 857]	
Haut-Rhin (68)	8 803	5 939	2 355	0	0
	[3 057 : 14 133]	[2 065 : 9 520]	[821 : 3 766]		
Champagne-Ardenne	17 180	12 982	4 910	0	0
	[5 974 : 27 546]	[4 518 : 20 794]	[1 712 : 7 850]		
Ardennes (08)	3 526	3 124	922	0	0
	[1 226 : 5 651]	[1 087 : 5 004]	[322 : 1 474]		
Aube (10)	3 294	2 126	564	0	0
	[1 147 : 5 276]	[741 : 3 401]	[197 : 902]		
Haute-Marne (51)	8 836	6 419	3 328	0	0
	[3 070 : 14 181]	[2 233 : 10 288]	[1 160 : 5 321]		
Marne (52)	1 523	1 313	96	0	0
	[530 : 2 437]	[458 : 2 101]	[34 : 154]		
Lorraine	42 666	34 115	21 477	6 224	118
	[14 762 : 68 800]	[11 831 : 54 860]	[7 456 : 34 489]	[2 167 : 9 963]	[41 : 189]
Meurthe-et-Moselle (54)	13 854	10 611	6 893	1 294	0
	[4 802 : 22 299]	[3 686 : 17 032]	[2 397 : 11 048]	[451 : 2 069]	
Meuse (55)	2 266	2 074	494	0	0
	[789 : 3 630]	[722 : 3 321]	[172 : 790]		
Moselle (57)	23 918	19 348	14 035	4 930	118
	[8 256 : 38 668]	[6 697 : 31 177]	[4 867 : 22 563]	[1 716 : 7 894]	[41 : 189]
Vosges (88)	2 627	2 082	55	0	0
	[916 : 4 203]	[726 : 3 329]	[19 : 87]		

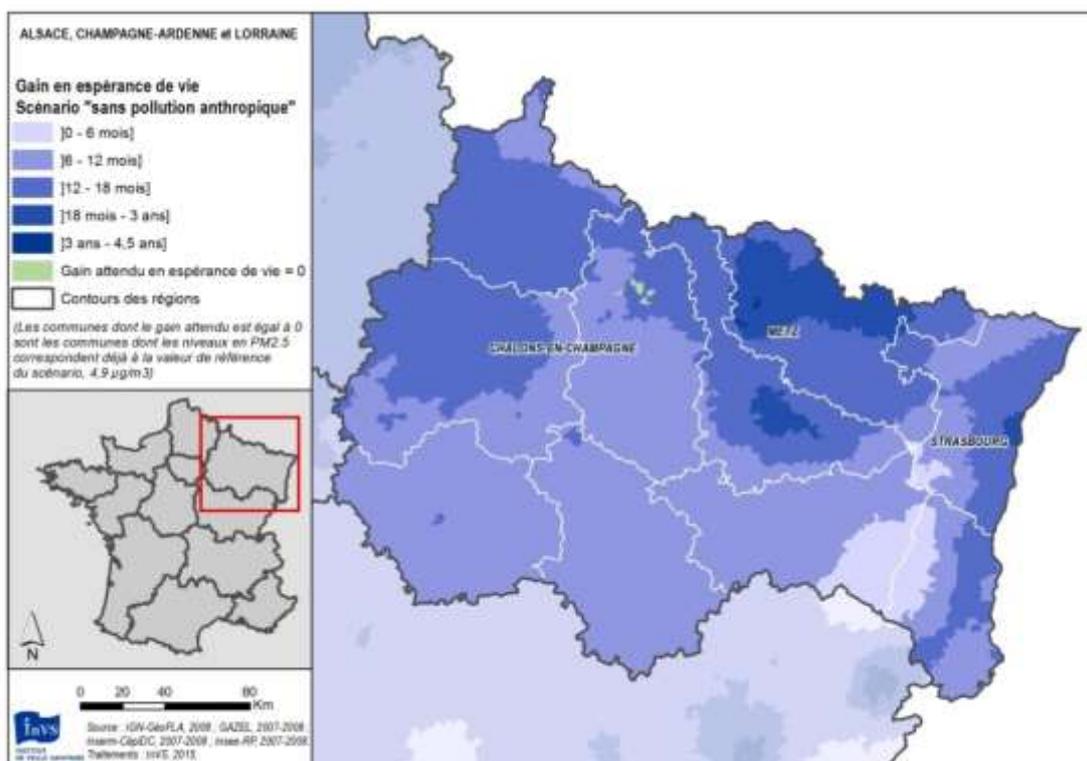
* Les communes équivalentes les moins polluées sont définies à l'échelle de la France, et peuvent donc se trouver dans une autre région.

I Figure 3 I



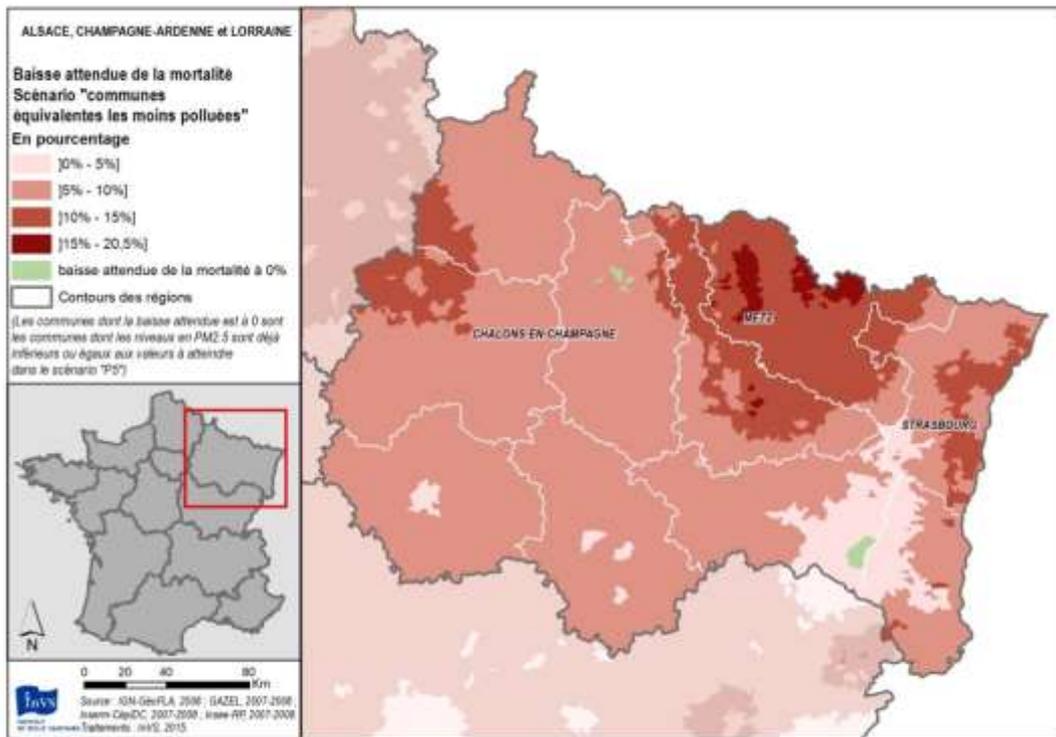
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « sans pollution anthropique » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 4 I



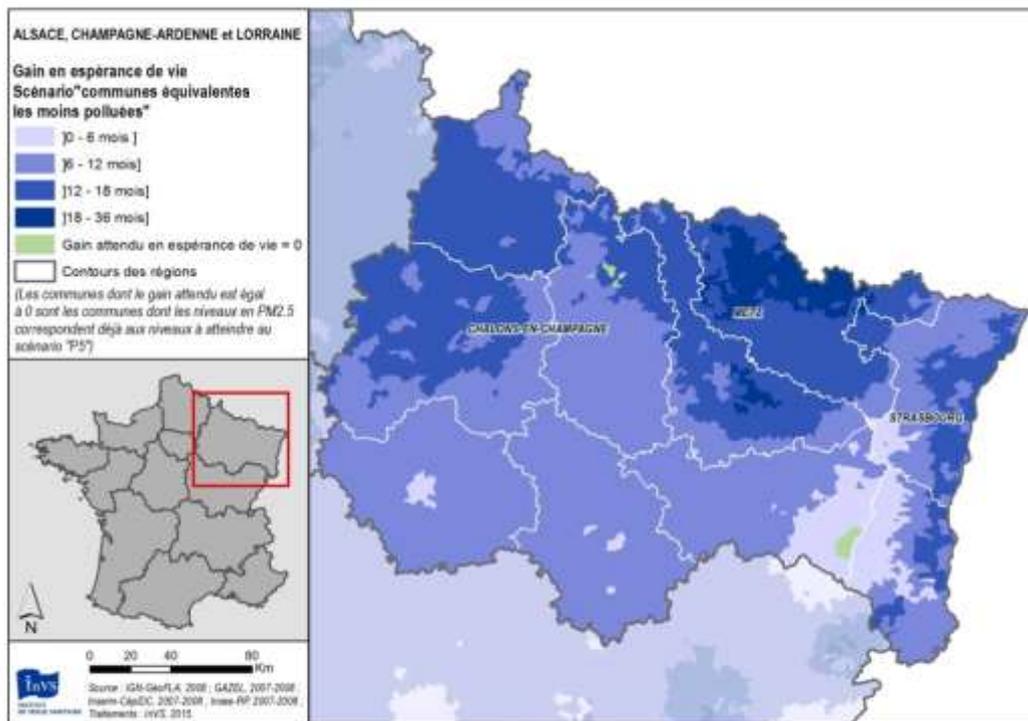
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « sans pollution anthropique »*

I Figure 5 I



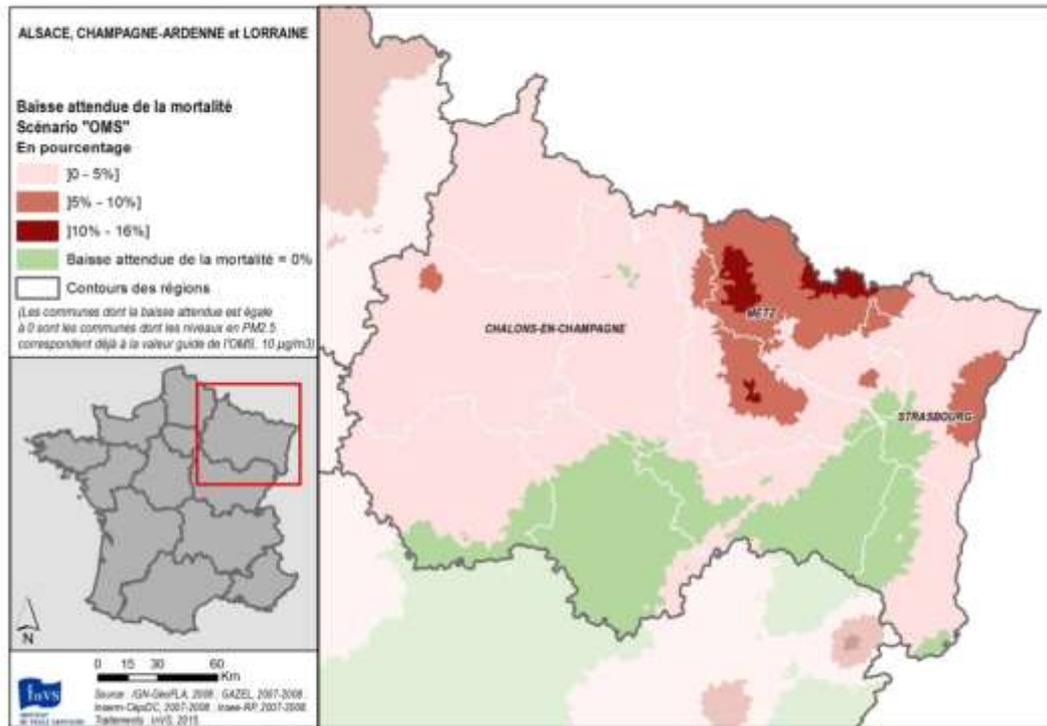
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 6 I



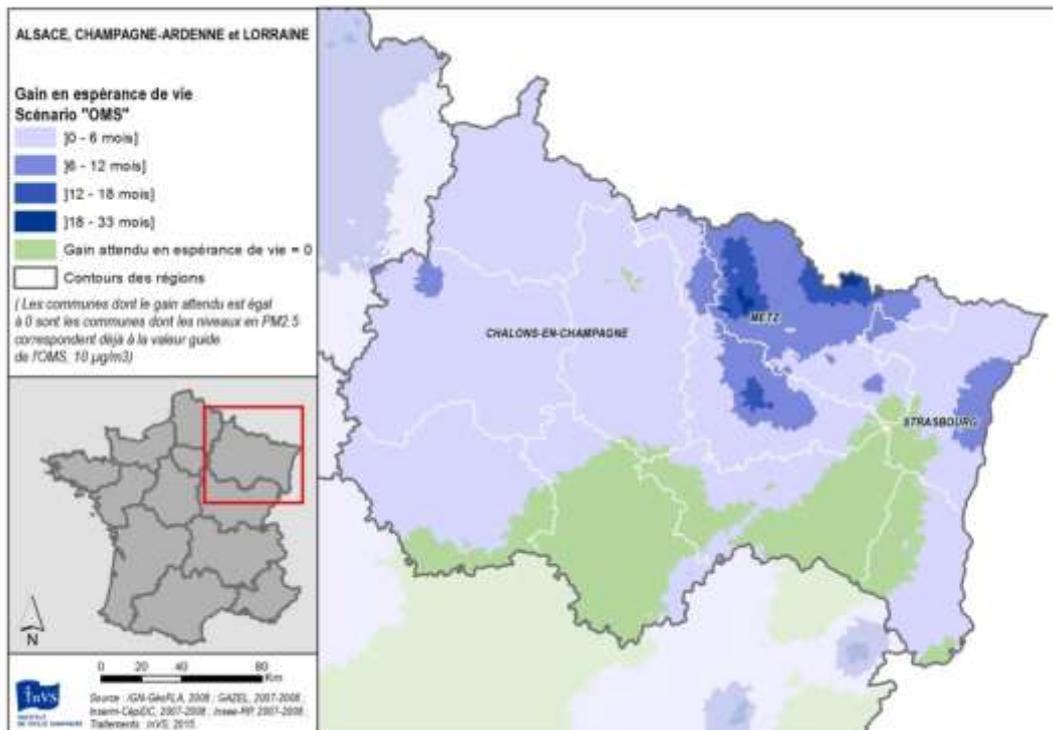
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées »

I Figure 7 I



Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « OMS » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 8 I



Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « OMS »

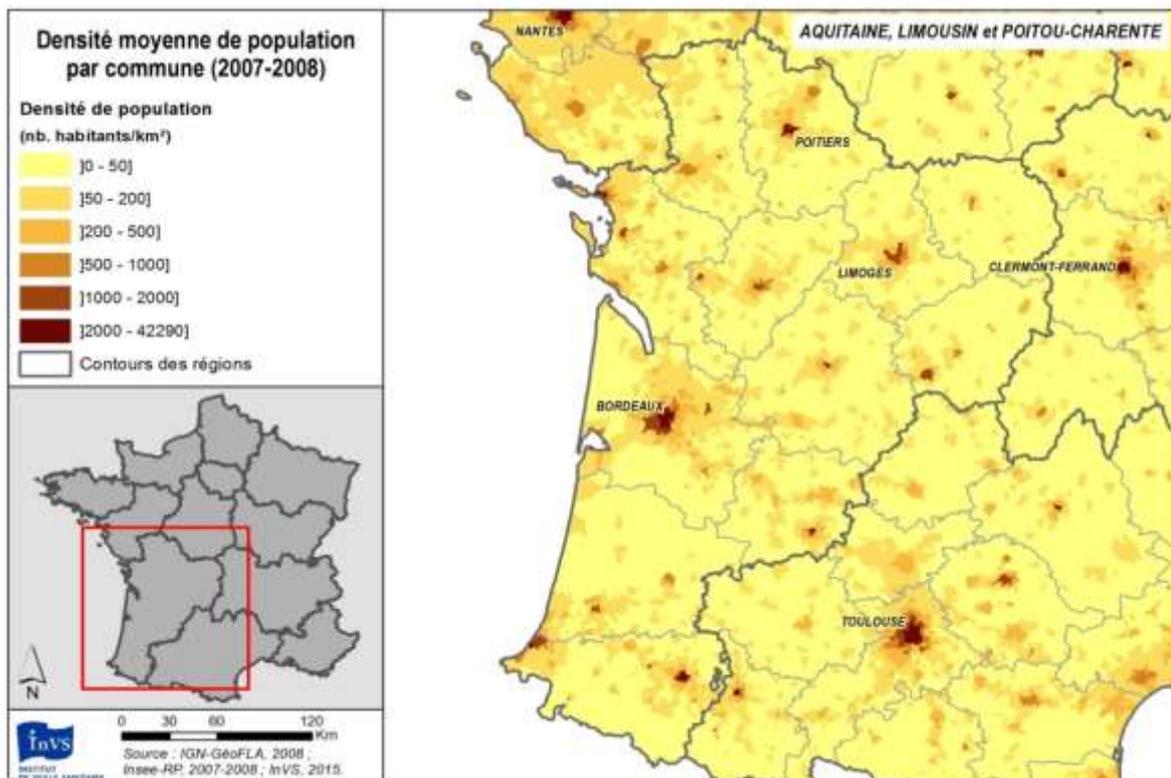
2. Aquitaine, Limousin, Poitou-Charentes

I Tableau 1 I

Nombre de communes, populations (tous âges et 30 ans et plus), mortalité totale 30 ans et plus (effectif et taux pour 100 000 habitants)

	Nombre de communes	Population totale	Population âgée de 30 ans et plus	Mortalité totale (30 ans et plus)	Mortalité totale pour 100 000 habitants (30 ans et plus)
Aquitaine	2 296	3 163 394	2 090 100	29 696	1 421
Dordogne (24)	557	407 362	288 838	4 866	1 685
Gironde (33)	542	1 415 060	891 638	11 431	1 282
Landes (40)	331	370 335	254 339	3 770	1 482
Lot-et-Garonne (47)	319	325 146	222 126	3 383	1 523
Pyrénées-Atlantiques (64)	547	645 491	433 156	6 248	1 442
Limousin	747	738 988	509 918	8 741	1 714
Corrèze (19)	286	242 497	170 023	2 948	1 734
Creuse (23)	260	123 933	90 290	1 879	2 081
Haute-Vienne (87)	201	372 559	249 605	3 915	1 568
Poitou-Charentes	1 462	1 746 287	1 161 109	17 354	1 495
Charente (16)	404	350 340	238 652	3 552	1 488
Charente-Maritime (17)	472	608 547	415 060	6 542	1 576
Deux-Sèvres (79)	305	364 121	241 217	3 746	1 553
Vienne (86)	281	423 280	266 181	3 784	1 422

I Figure 1 I



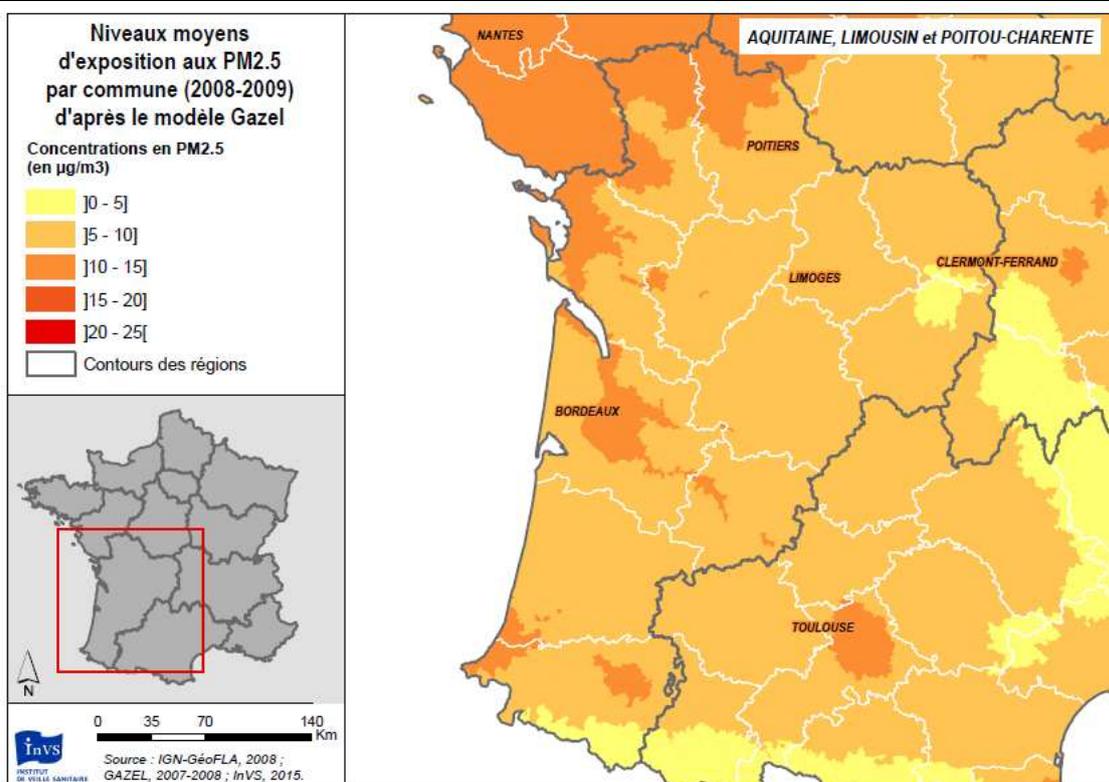
Densité de population (habitants/km²)

I Tableau 2 I

Concentrations annuelles moyennes de PM_{2.5} et population exposée à plus de 10, 15 et 20 µg/m³ en moyenne annuelle au cours de la période 2007-2008

	Concentration annuelle moyenne de PM _{2.5}			Population exposée à plus de		
	Ensemble de la zone µg/m ³	Commune la moins exposée µg/m ³	Commune la plus exposée µg/m ³	10 µg/m ³ en moyenne annuelle	15 µg/m ³ en moyenne annuelle	20 µg/m ³ en moyenne annuelle
Aquitaine	8,8	2,6	14,0	1 523 480	0	0
Dordogne (24)	7,9	6,6	10,0	1 899	0	0
Gironde (33)	9,7	8,3	14,0	983 768	0	0
Landes (40)	8,9	7,8	12,1	54 925	0	0
Lot-et-Garonne (47)	9,1	7,0	10,9	68 992	0	0
Pyrénées-Atlantique (64)	8,5	2,6	12,8	413 896	0	0
Limousin	6,7	4,6	8,7	0	0	0
Corrèze (19)	6,1	4,6	8,5	0	0	0
Creuse (23)	6,6	4,7	8,2	0	0	0
Haute-Vienne (87)	7,4	5,1	8,7	0	0	0
Poitou-Charentes	9,6	7,5	11,3	954 906	0	0
Charente (16)	9,0	7,5	10,2	40 131	0	0
Charente-Maritime (17)	9,7	8,1	11,0	381 394	0	0
Deux-Sèvres (79)	10,7	9,2	11,3	263 394	0	0
Vienne (86)	9,8	8,4	11,0	269 987	0	0

I Figure 2 I



Concentrations annuelles moyennes de PM_{2.5} (moyenne 2007-2008, µg/m³)

I Tableau 3 I

Nombre de décès évitables sous les différents scénarios

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Aquitaine	2 068 [741 : 3 221]	1 343 [476 : 2 110]	324 [114 : 507]	0	0
Dordogne (24)	223 [79 : 351]	181 [64 : 285]	1 [1 : 1]	0	0
Gironde (33)	956 [344 : 1 485]	575 [205 : 903]	221 [78 : 348]	0	0
Landes (40)	226 [81 : 354]	184 [66 : 290]	8 [3 : 12]	0	0
Lot-et-Garonne (47)	204 [73 : 320]	164 [59 : 258]	3 [2 : 5]	0	0
Pyrénées-Atlantiques (64)	459 [165 : 714]	239 [85 : 376]	91 [32 : 144]	0	0
Limousin	281 [100 : 443]	166 [59 : 262]		0	0
Corrèze (19)	71 [25 : 112]	47 [17 : 74]	0	0	0
Creuse (23)	52 [19 : 82]	48 [17 : 76]	0	0	0
Haute-Vienne (87)	158 [56 : 249]	72 [26 : 113]	0	0	0
Poitou-Charentes	1 184 [422 : 1 847]	906 [323 : 1 419]	56 [19 : 87]	0	0
Charente (16)	213 [76 : 333]	146 [52 : 230]	1 [1 : 2]	0	0
Charente-Maritime (17)	458 [164 : 715]	342 [122 : 537]	23 [8 : 37]	0	0
Deux-Sèvres (79)	254 [91 : 396]	227 [81 : 356]	20 [7 : 32]	0	0
Vienne (86)	259 [93 : 404]	191 [68 : 299]	12 [4 : 18]	0	0

I Tableau 4 I

Gain moyen en espérance de vie à 30 ans (mois)

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Aquitaine	7 [3 : 11]	6 [3 : 10]	2 [1 : 3]	0	0
Dordogne (24)	6 [2 : 9]	5 [2 : 8]	1 [1 : 1]	0	0
Gironde (33)	9 [3 : 14]	8 [3 : 12]	2 [1 : 3]	0	0
Landes (40)	7 [3 : 12]	7 [3 : 11]	2 [1 : 2]	0	0
Lot-et-Garonne (47)	8 [3 : 12]	7 [3 : 11]	1 [1 : 2]	0	0
Pyrénées-Atlantiques (64)	7 [3 : 10]	6 [2 : 9]	2 [1 : 3]	0	0
Limousin	4 [2 : 5]	3 [1 : 5]	0	0	0
Corrèze (19)	3 [1 : 4]	2 [1 : 4]	3 [1 : 4]	0	0
Creuse (23)	4 [2 : 5]	4 [2 : 5]	4 [2 : 5]	0	0
Haute-Vienne (87)	5 [2 : 7]	4 [2 : 7]	5 [2 : 7]	0	0
Poitou-Charentes	9 [3 : 14]	8 [3 : 13]	1 [1 : 2]	0	0
Charente (16)	8 [3 : 12]	7 [3 : 11]	1 [1 : 1]	0	0
Charente-Maritime (17)	9 [3 : 14]	9 [3 : 14]	1 [1 : 1]	0	0
Deux-Sèvres (79)	9 [4 : 15]	9 [3 : 14]	1 [1 : 2]	0	0
Vienne (86)	9 [3 : 14]	8 [3 : 13]	1 [1 : 1]	0	0

* Les communes équivalentes les moins polluées sont définies à l'échelle de la France, et peuvent donc se trouver dans une autre région.

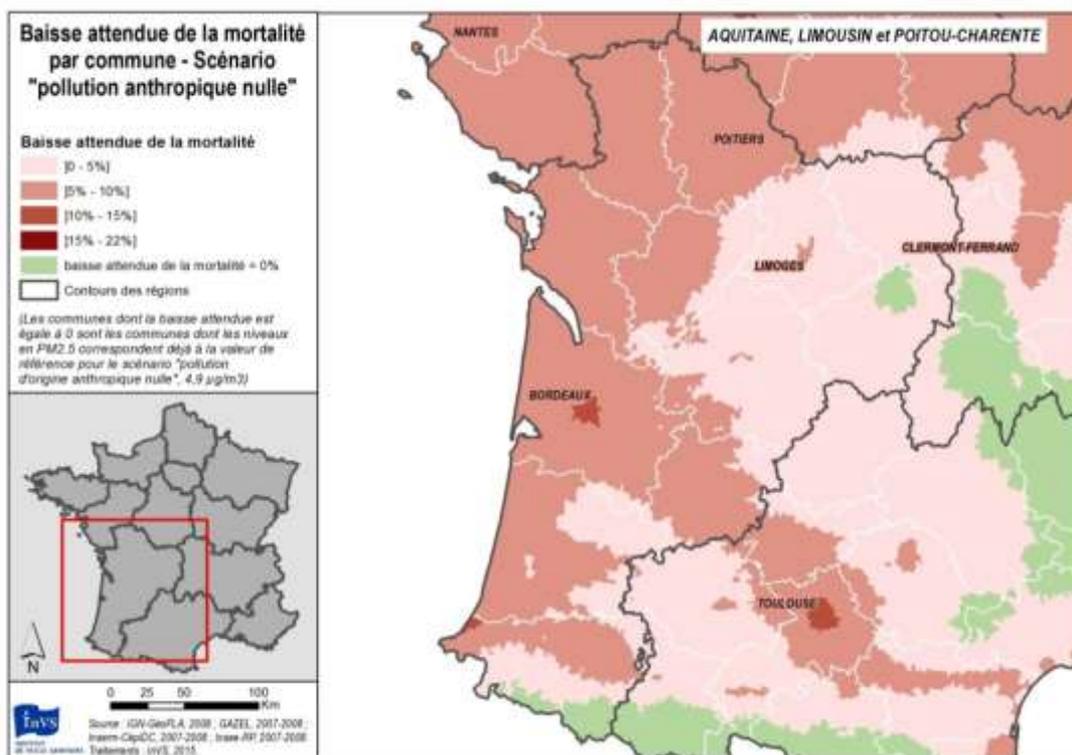
I Tableau 5 I

Nombre total d'années de vie gagnées

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Aquitaine	30 899	18 278	6300	0	0
	[10 731 : 49 591]	[6 363 : 29 257]	[2194 : 10 075]		
Dordogne (24)	1 959	1 545	1	0	0
	[683 : 3 134]	[539 : 2 470]	[1 : 1]		
Gironde (33)	18 209	10 100	4 928	0	0
	[6 319 : 29 257]	[3 515 : 16 174]	[1 717 : 7 887]		
Landes (40)	2 557	2 041	109	0	0
	[890 : 4 093]	[711 : 3 267]	[38 : 174]		
Lot-et-Garonne (47)	2 104	1 655	39	0	0
	[733 : 3369]	[577 : 2 649]	[14 : 61]		
Pyrénées-Atlantiques (64)	6 070	2 937	1 223	0	0
	[2 109 : 9 740]	[1 023 : 4 700]	[427 : 1 955]		
Limousin	2 954	1 311	0	0	0
	[1 029 : 4 728]	[457 : 2 092]			
Corrèze (19)	695	430	0	0	0
	[243 : 1 112]	[150 : 686]			
Creuse (23)	330	295	0	0	0
	[115 : 527]	[103 : 471]			
Haute-Vienne (87)	1 929	586	0	0	0
	[672 : 3 089]	[205 : 936]			
Poitou-Charentes	14 183	10 178	724	0	0
	[4 933 : 22 730]	[3 542 : 16296]	[253 : 1 154]		
Charente (16)	2 463	1 482	8	0	0
	[858 : 3 945]	[517 : 2 372]	[3 : 13]		
Charente-Maritime (17)	4 816	3 530	261	0	0
	[1 676 : 7 716]	[1 229 : 5 651]	[91 : 416]		
Deux-Sèvres (79)	3 222	2 841	279	0	0
	[1 120 : 5 168]	[988 : 4 553]	[98 : 446]		
Vienne (86)	3 682	2 325	176	0	0
	[1 281 : 5 902]	[810 : 3 722]	[62 : 280]		

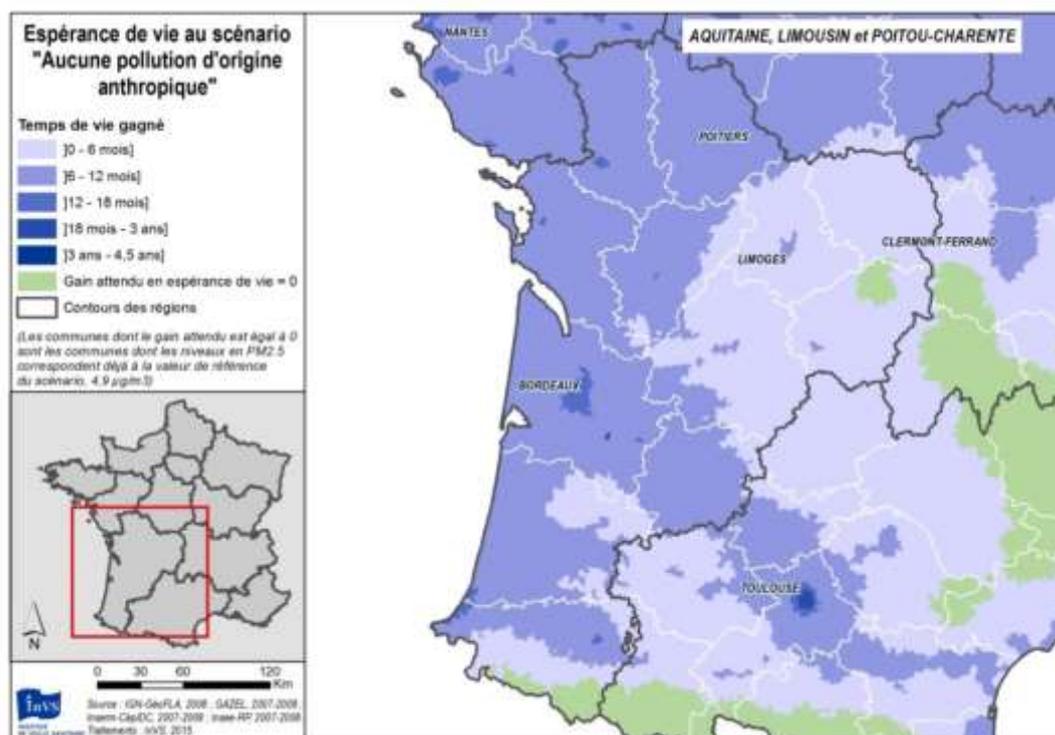
* Les communes équivalentes les moins polluées sont définies à l'échelle de la France, et peuvent donc se trouver dans une autre région.

I Figure 3 I



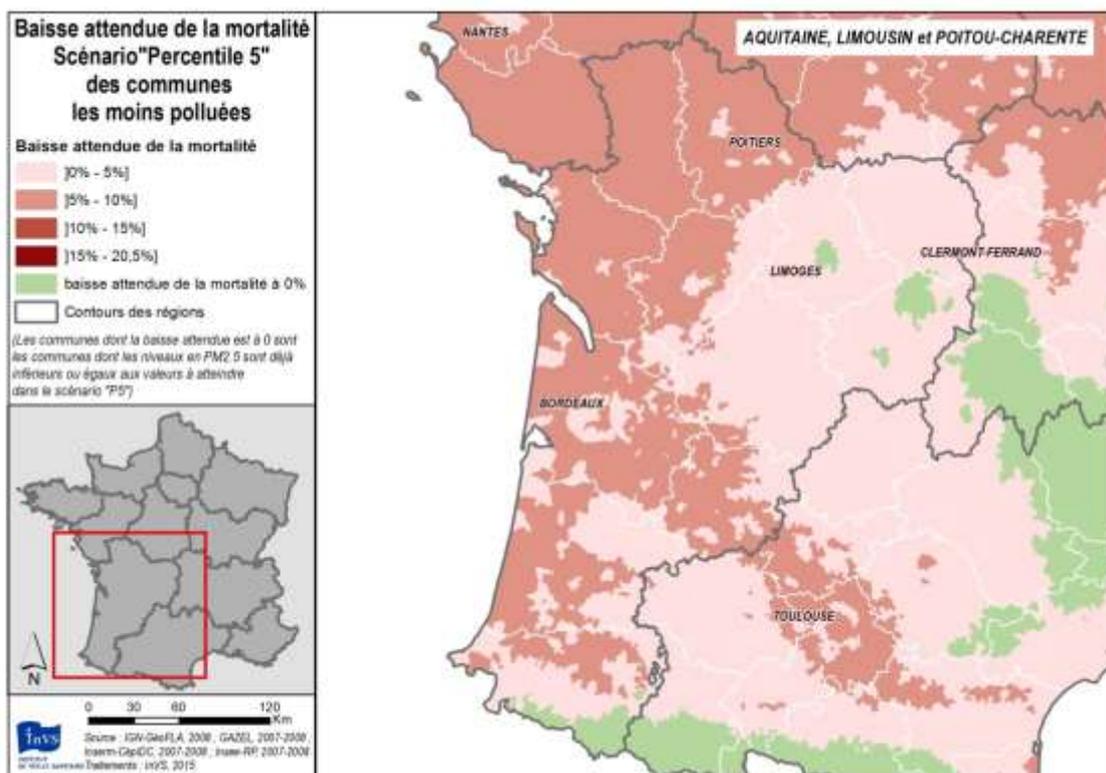
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « sans pollution anthropique » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 4 I



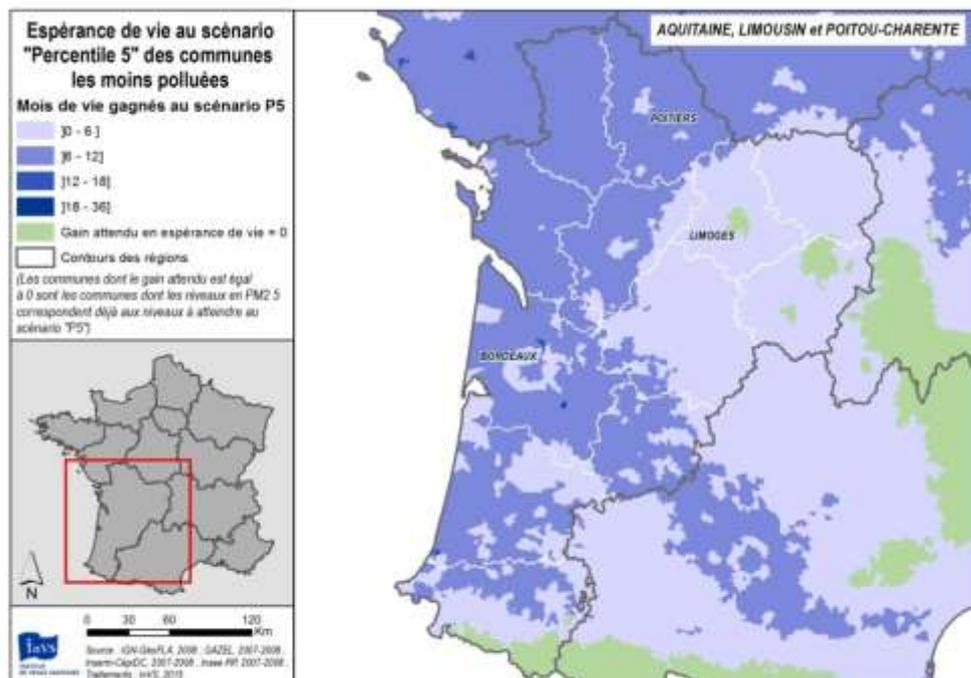
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « sans pollution anthropique »

I Figure 5 I



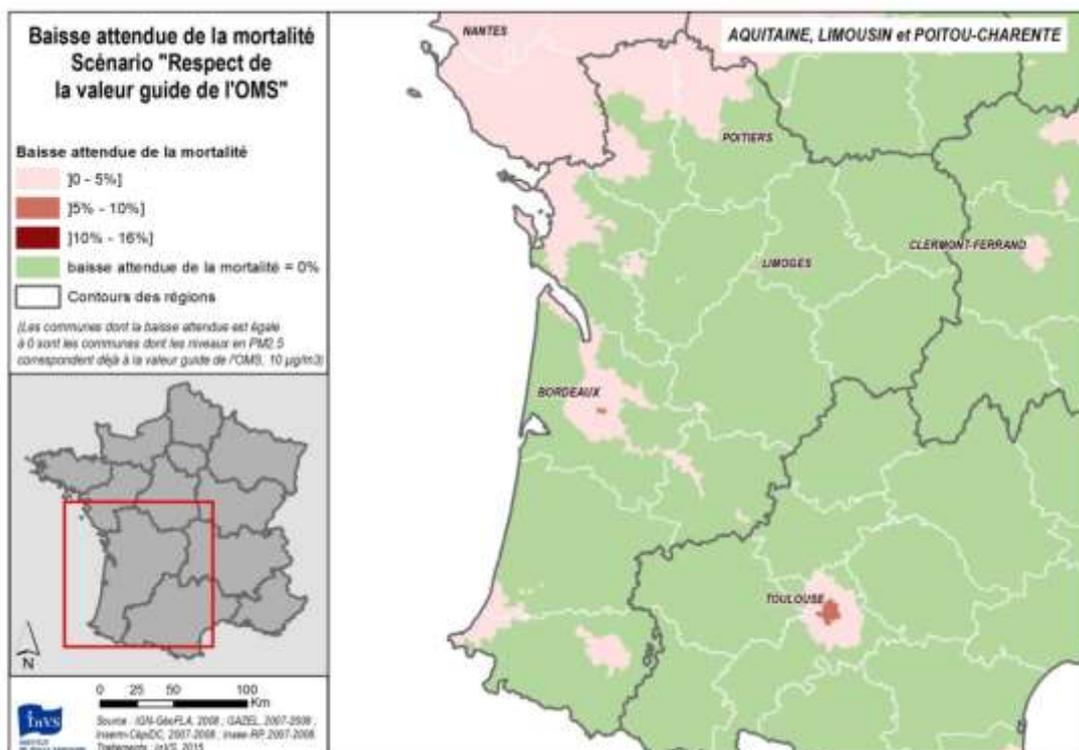
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 6 I



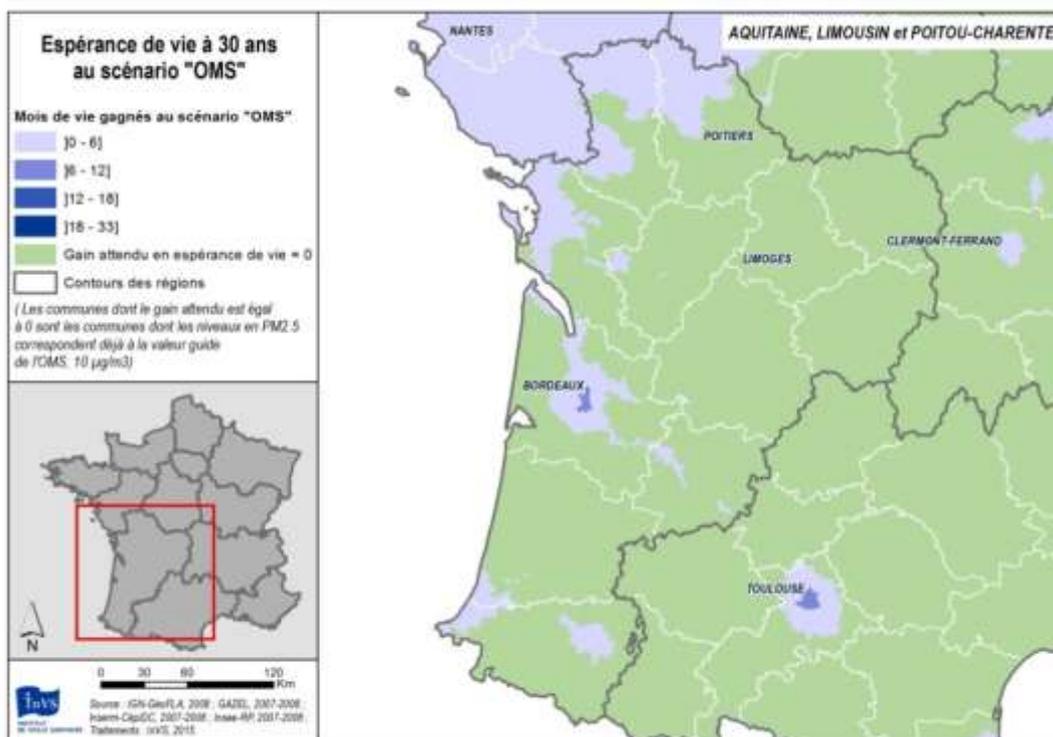
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées »

I Figure 7 I



Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « OMS » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 8 I



Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « OMS »

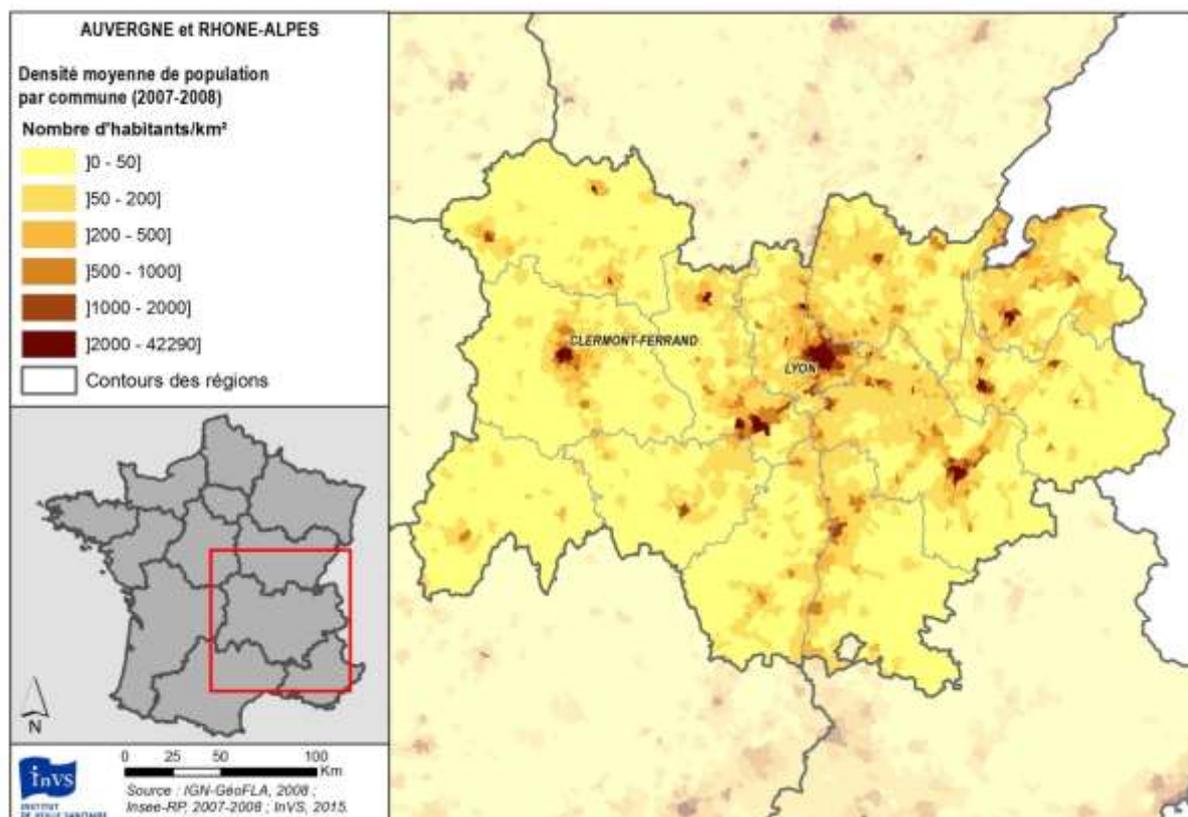
3. Auvergne, Rhône-Alpes

| Tableau 1 |

Nombre de communes, populations (tous âges et 30 ans et plus), mortalité totale 30 ans et plus (effectif et taux pour 100 000 habitants)

	Nombre de communes	Population totale	Population âgée de 30 ans et plus	Mortalité totale (30 ans et plus)	Mortalité totale pour 100 000 habitants (30 ans et plus)
Auvergne	1 310	1 341 359	901 466	14 150	1 570
Allier (03)	320	343 292	238 989	4 160	1 740
Cantal (15)	260	149 006	106 056	1 858	1 751
Haute-Loire (43)	260	221 158	148 231	2 321	1 566
Puy-de-Dôme (63)	470	627 904	408 191	5 812	1 424
Rhône-Alpes	2 879	6 092 018	3 764 761	44 893	1 192
Ain (01)	419	577 868	359 329	4 155	1 156
Ardèche (07)	339	310 229	208 900	3 089	1 478
Drome (26)	369	475 371	305 735	3 961	1 295
Haute-Savoie (74)	294	711 584	443 819	4 433	999
Isère (38)	533	1 183 767	718 195	7 904	1 101
Loire (42)	327	742 094	474 250	6 812	1 436
Rhône (69)	293	1 683 940	994 892	11 440	1 150
Savoie (73)	305	407 167	259 643	3 103	1 195

| Figure 1 |



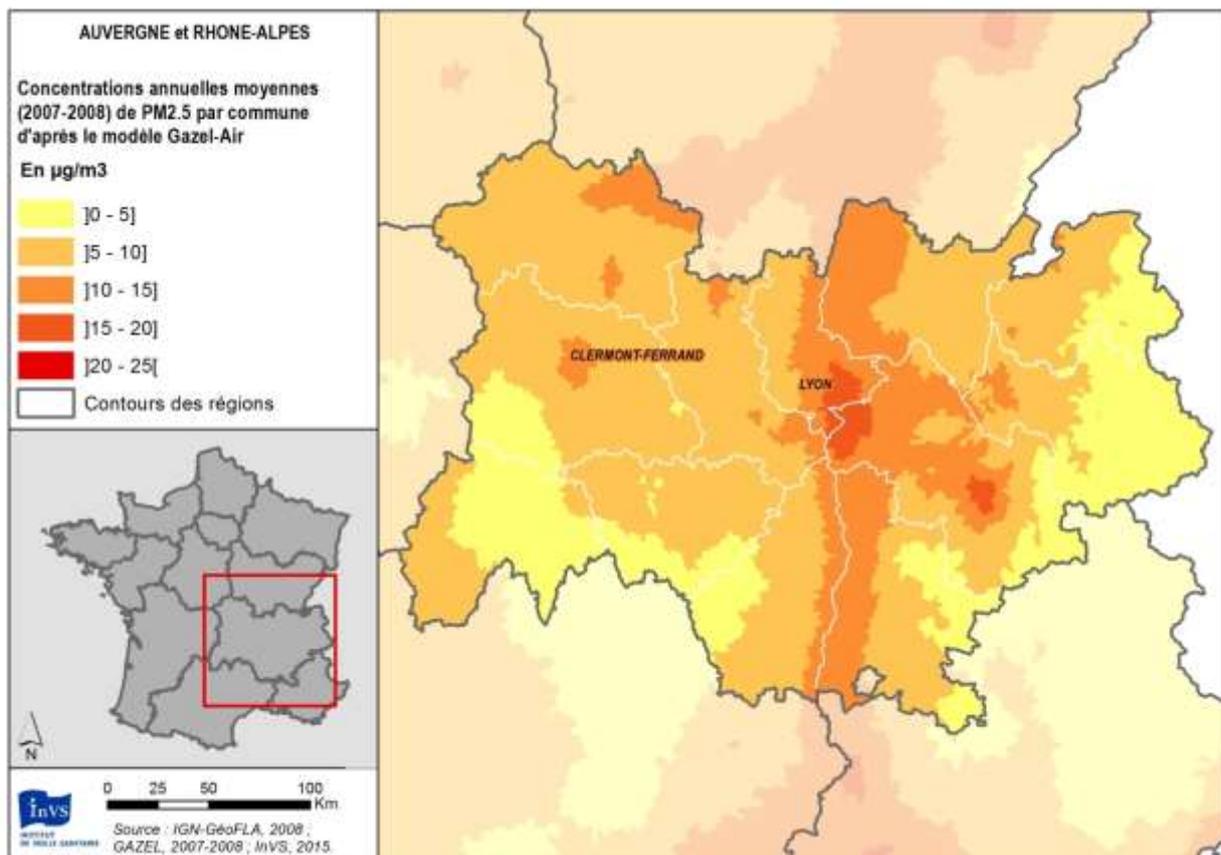
Densité de population (habitants/km²)

I Tableau 2 I

Concentrations annuelles moyennes de PM_{2.5} et population exposée à plus de 10, 15 et 20 µg/m³ en moyenne annuelle au cours de la période 2007-2008

	Concentration annuelle moyenne de PM _{2.5}			Population exposée à plus de		
	Ensemble de la zone µg/m ³	Commune la moins exposée µg/m ³	Commune la plus exposée µg/m ³	10 µg/m ³ en moyenne annuelle	15 µg/m ³ en moyenne annuelle	20 µg/m ³ en moyenne annuelle
Auvergne	6,8	3,6	11,4	361 146	0	0
Allier (03)	9,0	5,8	10,9	104 740	0	0
Cantal (15)	4,9	3,6	7,0	0	0	0
Haute-Loire (43)	5,6	3,7	7,8	0	0	0
Puy-de-Dôme (63)	7,2	3,9	11,4	256 406	0	0
Rhône-Alpes	8,9	0,9	19,2	3 848 117	1 279 630	0
Ain (01)	9,5	5,1	13,5	297 058	0	0
Ardèche (07)	7,7	3,7	13,8	126 836	0	0
Drome (26)	8,7	3,9	14,6	395 582	0	0
Haute-Savoie (74)	7,7	2,8	11,1	91 689	0	0
Isère (38)	10,4	2,3	19,1	1 013 918	462 661	0
Loire (42)	8,6	5,0	14,8	189 364	0	0
Rhône (69)	11,5	7,7	19,2	1 581 056	816 969	0
Savoie (73)	6,7	0,9	11,4	152 616	0	0

I Figure 2 I



Concentrations annuelles moyennes de PM_{2.5} (moyenne 2007-2008, µg/m³)

I Tableau 3 I

Nombre de décès évitables sous les différents scénarios

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Auvergne	590 [211 : 925]	381 [135 : 600]	16 [6 : 26]	0	0
Allier (03)	258 [93 : 404]	209 [74 : 327]	7 [3 : 12]	0	0
Cantal (15)	13 [4 : 20]	6 [2 : 10]	0	0	0
Haute-Loire (43)	40 [14 : 63]	22 [8 : 35]	0	0	0
Puy-de-Dôme (63)	279 [99 : 438]	144 [51 : 228]	9 [3 : 14]	0	0
Rhône-Alpes	3792 [1373 : 5858]	2435 [873 : 3795]	1267 [453 : 1981]	169 [60 : 267]	0
Ain (01)	274 [98 : 427]	213 [76 : 334]	44 [16 : 72]	0	0
Ardèche (07)	168 [60 : 262]	127 [45 : 199]	27 [9 : 42]	0	0
Drome (26)	351 [127 : 543]	272 [97 : 424]	117 [41 : 185]	0	0
Haute-Savoie (74)	197 [70 : 309]	79 [28 : 124]	5 [2 : 8]	0	0
Isère (38)	876 [320 : 1343]	659 [238 : 1020]	389 [140 : 604]	108 [38 : 171]	0
Loire (42)	403 [144 : 631]	178 [63 : 280]	19 [7 : 30]	0	0
Rhône (69)	1382 [504 : 2122]	851 [305 : 1325]	654 [233 : 1021]	60 [21 : 96]	0
Savoie (73)	141 [51 : 221]	56 [20 : 89]	12 [4 : 19]	0	0

I Tableau 4 I

Gain moyen en espérance de vie à 30 ans (mois)

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Auvergne	4 [1 : 6]	3 [1 : 5]	1 [0 : 1]	0	0
Allier (03)	8 [3 : 12]	8 [3 : 12]	1 [1 : 1]	0	0
Cantal (15)	1 [1 : 1]	1 [1 : 1]	0	0	0
Haute-Loire (43)	2 [1 : 3]	2 [1 : 2]	0	0	0
Puy-de-Dôme (63)	4 [2 : 7]	4 [2 : 6]	1 [1 : 2]	0	0
Rhône-Alpes	7 [2 : 11]	6 [2 : 9]	4 [1 : 6]	3 [1 : 4]	0
Ain (01)	8 [3 : 13]	8 [3 : 12]	3 [2 : 5]	0	0
Ardèche (07)	6 [2 : 9]	5 [2 : 8]	3 [1 : 5]	0	0
Drome (26)	7 [3 : 11]	7 [3 : 10]	4 [2 : 6]	0	0
Haute-Savoie (74)	5 [2 : 8]	4 [2 : 6]	1 [1 : 1]	0	0
Isère (38)	10 [4 : 15]	8 [3 : 13]	4 [2 : 7]	3 [1 : 4]	0
Loire (42)	7 [3 : 10]	6 [2 : 9]	3 [1 : 4]	0	0
Rhône (69)	12 [4 : 19]	9 [3 : 14]	6 [2 : 9]	3 [1 : 5]	0
Savoie (73)	4 [2 : 7]	3 [1 : 5]	1 [1 : 2]	0	0

* Les communes équivalentes les moins polluées sont définies à l'échelle de la France, et peuvent donc se trouver dans une autre région.

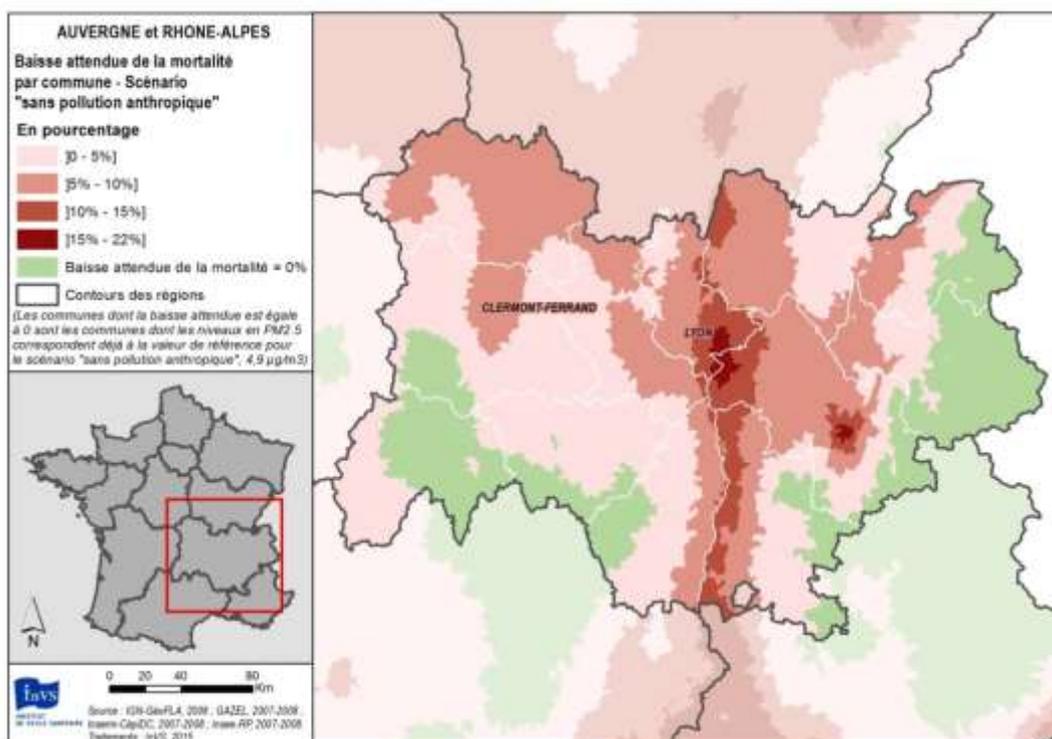
I Tableau 5 I

Nombre total d'années de vie gagnées

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Auvergne	7741 [2695 : 12397]	4369 [1523 : 6987]	251 [88 : 400]		0
Allier (03)	2432 [847 : 3895]	1962 [684 : 3138]	72 [25 : 114]		0
Cantal (15)	119 [42 : 190]	54 [19 : 87]	0		0
Haute-Loire (43)	485 [169 : 774]	262 [91 : 418]	0		0
Puy-de-Dôme (63)	4705 [1637 : 7538]	2091 [729 : 3344]	179 [63 : 286]		0
Rhône-Alpes	76402 [26455 : 123054]	47602 [16529 : 76422]	28123 [9769 : 45129]	4055 [1412 : 6489]	0
Ain (01)	4639 [1613 : 7438]	3421 [1190 : 5481]	702 [245 : 1124]		0
Ardèche (07)	2113 [735 : 3386]	1665 [579 : 2667]	359 [125 : 574]		0
Drome (26)	5040 [1751 : 8089]	3840 [1336 : 6154]	1685 [587 : 2695]		0
Haute-Savoie (74)	4521 [1572 : 7245]	1691 [589 : 2706]	131 [46 : 209]		0
Isère (38)	19067 [6592 : 30772]	13916 [4825 : 22377]	8921 [3096 : 14334]	2590 [902 : 4145]	0
Loire (42)	5303 [1845 : 8496]	2277 [793 : 3645]	247 [86 : 395]		0
Rhône (69)	33440 [11555 : 53974]	19914 [6911 : 31987]	15889 [5519 : 25499]	1466 [511 : 2344]	0
Savoie (73)	2279 [792 : 3654]	878 [306 : 1405]	187 [65 : 299]		0

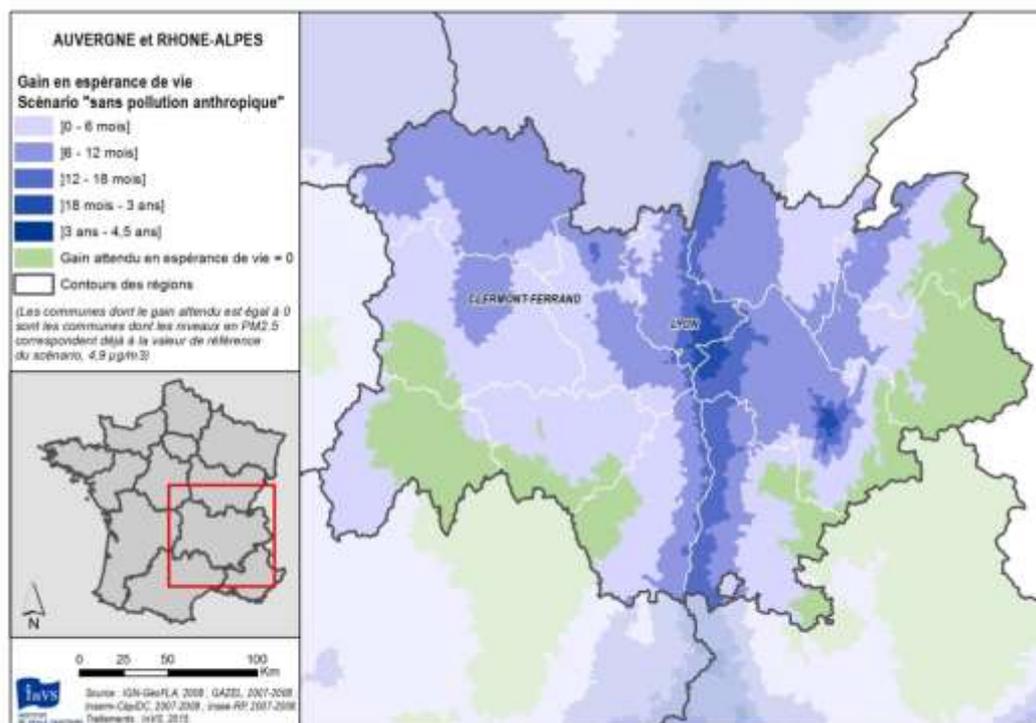
* Les communes équivalentes les moins polluées sont définies à l'échelle de la France, et peuvent donc se trouver dans une autre région.

I Figure 3 I



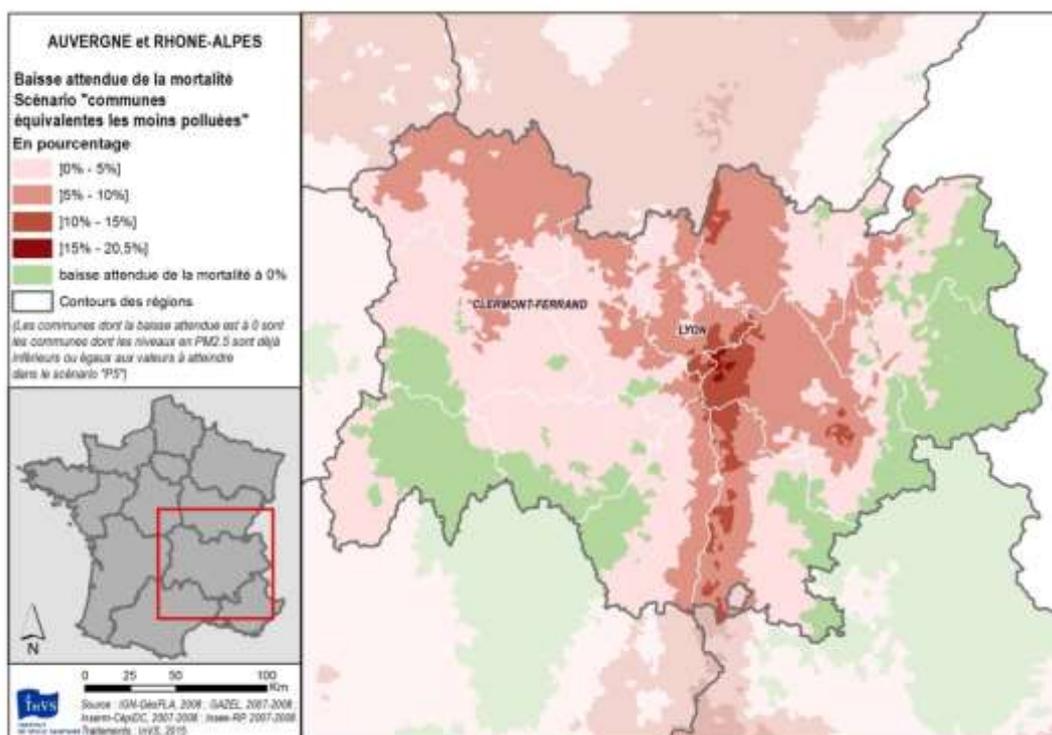
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « sans pollution anthropique » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 4 I



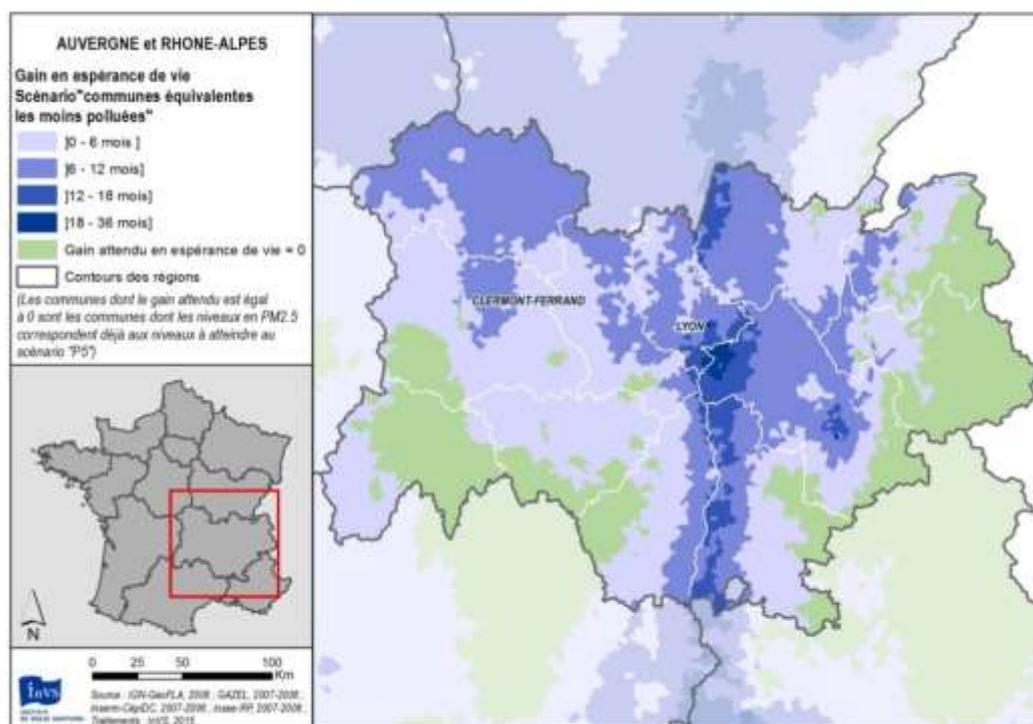
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « sans pollution anthropique »

I Figure 5 I



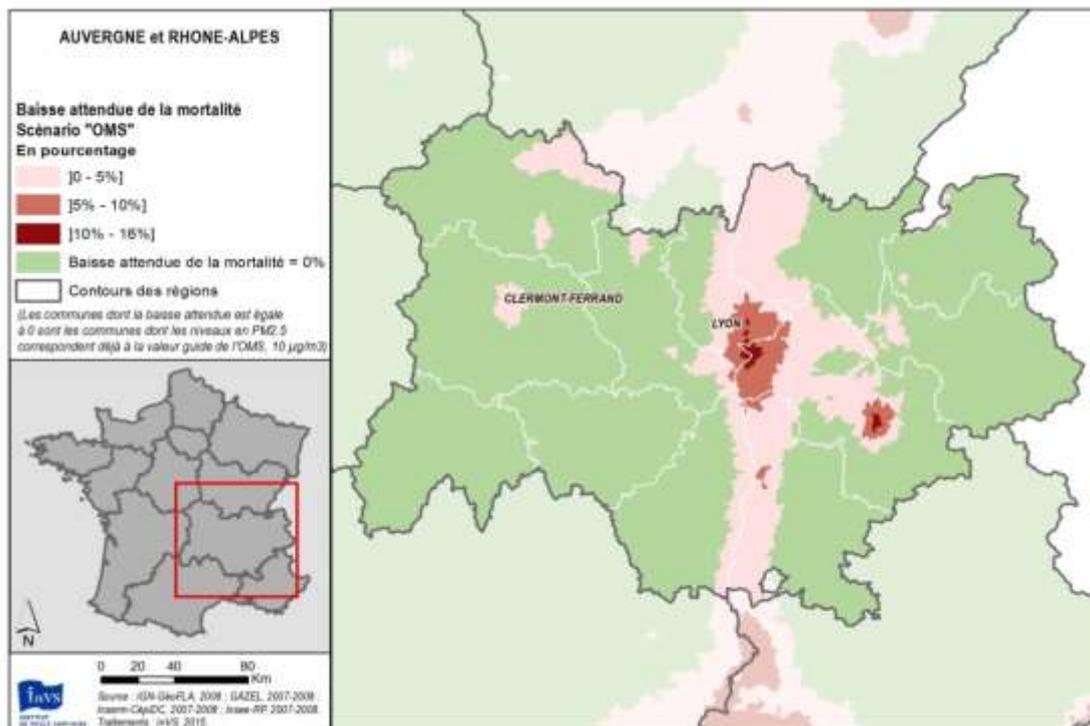
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 6 I



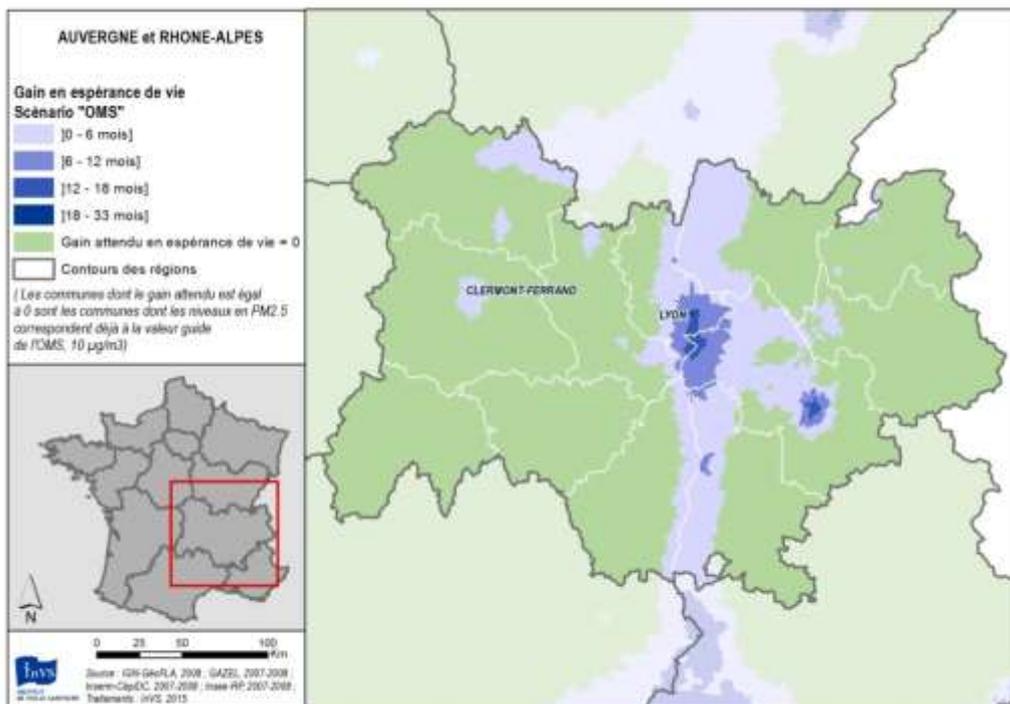
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées »

I Figure 7 I



Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « OMS » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 8 I



Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « OMS »

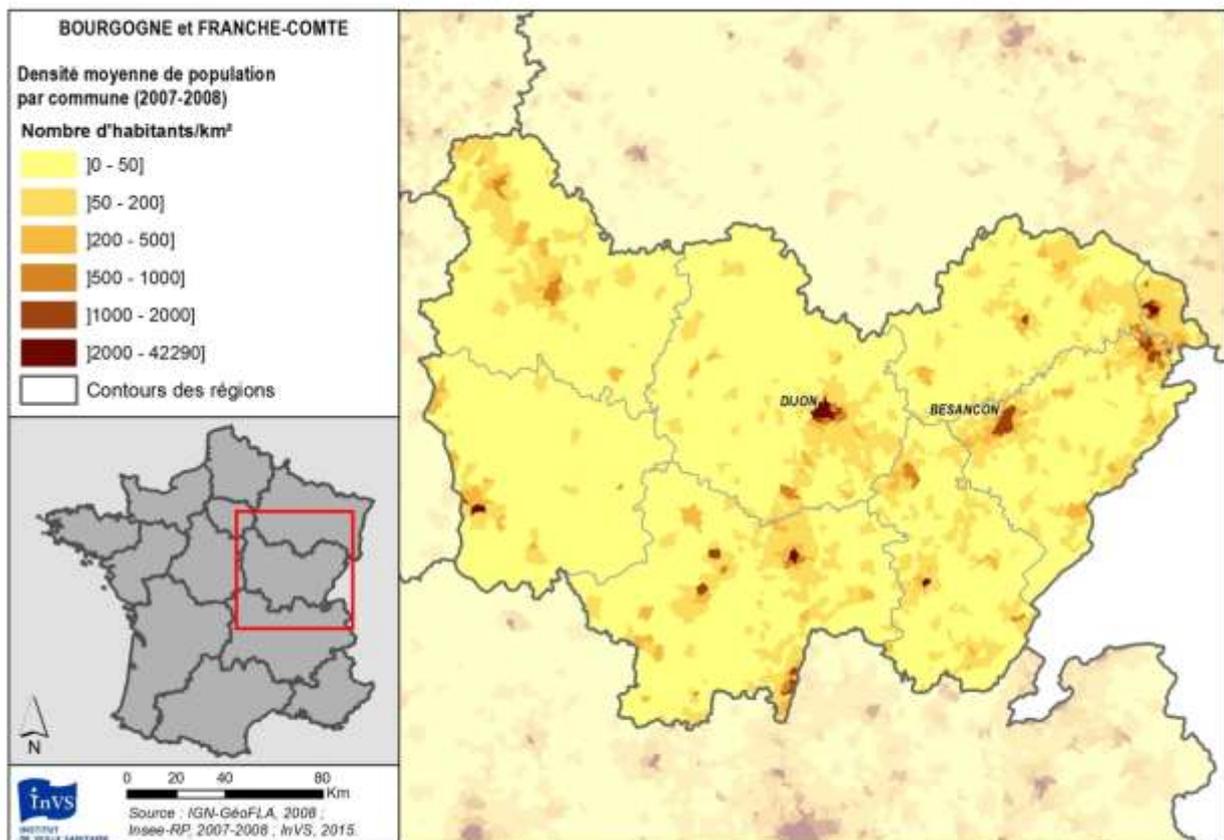
4. Bourgogne, Franche-Comté

| Tableau 1 |

Nombre de communes, populations (tous âges et 30 ans et plus), mortalité totale 30 ans et plus (effectif et taux pour 100 000 habitants)

	Nombre de communes	Population totale	Population âgée de 30 ans et plus	Mortalité totale (30 ans et plus)	Mortalité totale pour 100 000 habitants (30 ans et plus)
Bourgogne	2 045	1 636 382	1 081 429	16 749	1 549
Côte-d'Or (21)	706	520 281	324 897	4 275	1 316
Nièvre (58)	312	221 021	155 233	2 779	1 790
Saône et Loire (71)	573	553 336	374 769	5 808	1 550
Yonne (89)	454	341 745	226 531	3 889	1 717
Franche-Comté	1 785	1 161 692	730 972	96 48	1 320
Doubs (25)	594	521 429	318 013	3 865	1 215
Haute-Saône (70)	545	238 075	155 154	2 191	1 412
Jura (39)	544	260 131	170 293	2 450	1 439
Territoire de Belfort (90)	102	142 058	87 512	1 143	1 306

| Figure 1 |



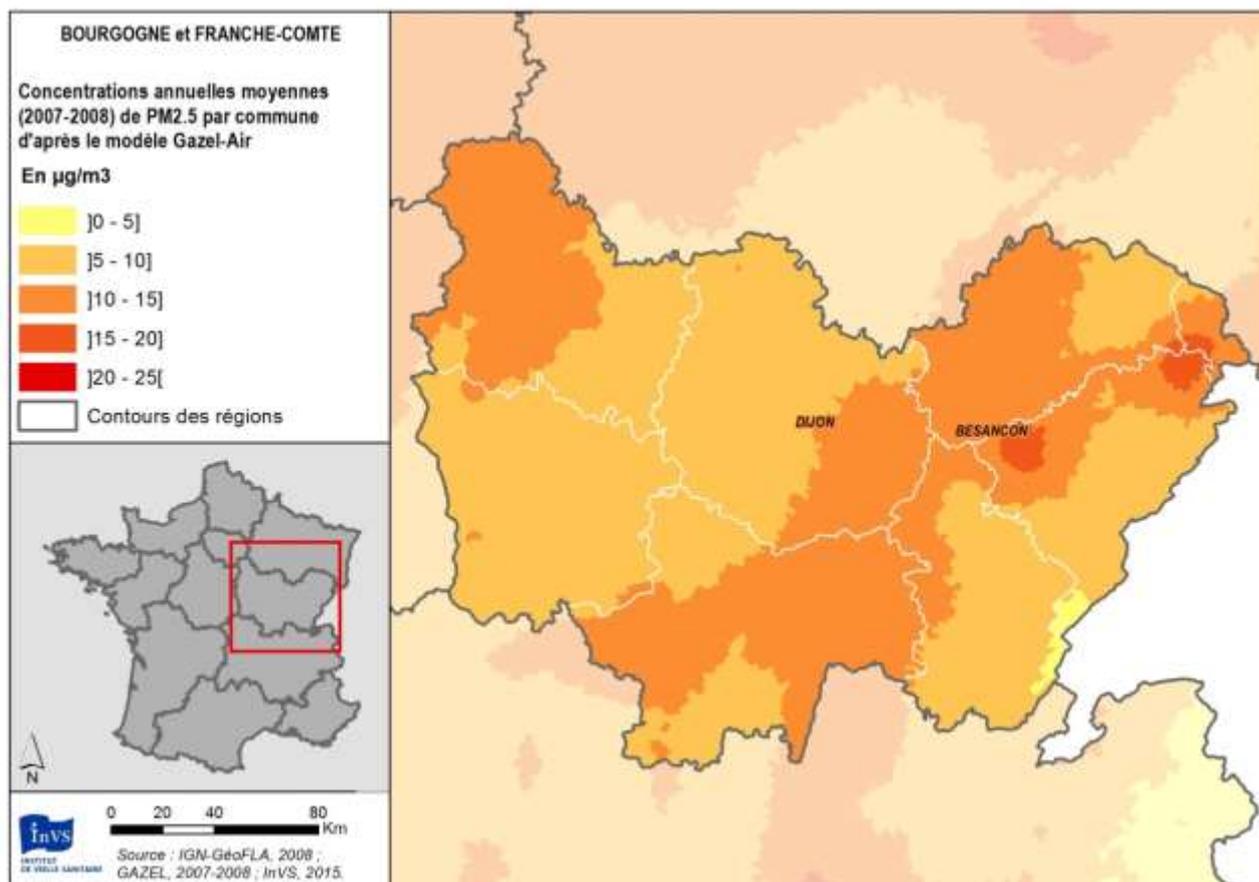
Densité de population (habitants/km²)

I Tableau 2 I

Concentrations annuelles moyennes de PM_{2,5} et population exposée à plus de 10, 15 et 20 µg/m³ en moyenne annuelle au cours de la période 2007-2008

	Concentration annuelle moyenne PM _{2,5}			Population exposée à plus de		
	Ensemble de la zone µg/m ³	Commune la moins exposée µg/m ³	Commune la plus exposée µg/m ³	10 µg/m ³ en moyenne annuelle	15 µg/m ³ en moyenne annuelle	20 µg/m ³ en moyenne annuelle
Bourgogne	10,1	7,2	14,2	1 185 096	0	0
Côte-d'Or (21)	9,9	7,6	12,6	404 383	0	0
Nièvre (58)	9,1	7,2	10,1	41 014	0	0
Saône et Loire (71)	10,8	7,8	14,2	466 350	0	0
Yonne (89)	10,2	7,7	11,8	273 349	0	0
Franche-Comté	10,1	4,8	18,7	805 028	304 237	0
Doubs (25)	10,5	4,8	18,7	388 440	272 566	0
Haute-Saône (70)	10,8	6,8	16,7	165 184	11 948	0
Jura (39)	8,5	4,8	12,3	117 705	0	0
Territoire de Belfort (90)	12,9	7,5	17,1	133 700	19 724	0

I Figure 2 I



Concentrations annuelles moyennes de PM_{2,5} (moyenne 2007-2008, µg/m³)

I Tableau 3 I

Nombre de décès évitables sous les différents scénarios

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Bourgogne	1 376 [494 : 2 142]	1 141 [408 : 1 784]	232 [82 : 368]	0	0
Côte-d'Or (21)	350 [126 : 545]	242 [87 : 379]	74 [26 : 117]	0	0
Nièvre (58)	169 [60 : 264]	147 [52 : 230]	1 [1 : 1]	0	0
Saône et Loire (71)	503 [181 : 780]	442 [159 : 689]	119 [42 : 188]	0	0
Yonne (89)	356 [128 : 555]	311 [111 : 487]	40 [14 : 63]	0	0
Franche-Comté	848 [308 : 1 308]	693 [249 : 1 076]	297 [107 : 464]	53 [19 : 83]	0
Doubs (25)	421 [154 : 644]	316 [114 : 489]	209 [75 : 325]	50 [18 : 79]	0
Haute-Saône (70)	171 [62 : 266]	158 [57 : 246]	30 [11 : 47]	2 [1 : 2]	0
Jura (39)	132 [47 : 206]	112 [40 : 175]	9 [3 : 14]	0	0
Territoire de Belfort (90)	125 [46 : 192]	108 [39 : 167]	51 [18 : 80]	2 [1 : 3]	0

I Tableau 4 I

Gain moyen en espérance de vie à 30 ans (mois)

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Bourgogne	10 [4 : 15]	9 [4 : 15]	3 [1 : 4]	0	0
Côte-d'Or (21)	9 [3 : 14]	9 [3 : 14]	3 [1 : 4]	0	0
Nièvre (58)	8 [3 : 13]	8 [3 : 13]	1 [1 : 1]	0	0
Saône et Loire (71)	11 [4 : 17]	11 [4 : 17]	3 [1 : 4]	0	0
Yonne (89)	10 [4 : 15]	10 [4 : 15]	2 [1 : 2]	0	0
Franche-Comté	9 [4 : 15]	9 [3 : 14]	4 [2 : 6]	3 [1 : 4]	0
Doubs (25)	10 [4 : 15]	9 [4 : 15]	5 [2 : 8]	3 [1 : 4]	0
Haute-Saône (70)	11 [4 : 17]	11 [4 : 17]	3 [1 : 4]	2 [1 : 3]	0
Jura (39)	7 [3 : 10]	6 [3 : 10]	2 [1 : 2]	0	0
Territoire de Belfort (90)	13 [5 : 21]	13 [5 : 20]	6 [2 : 9]	2 [1 : 2]	0

* Les communes équivalentes les moins polluées sont définies à l'échelle de la France, et peuvent donc se trouver dans une autre région.

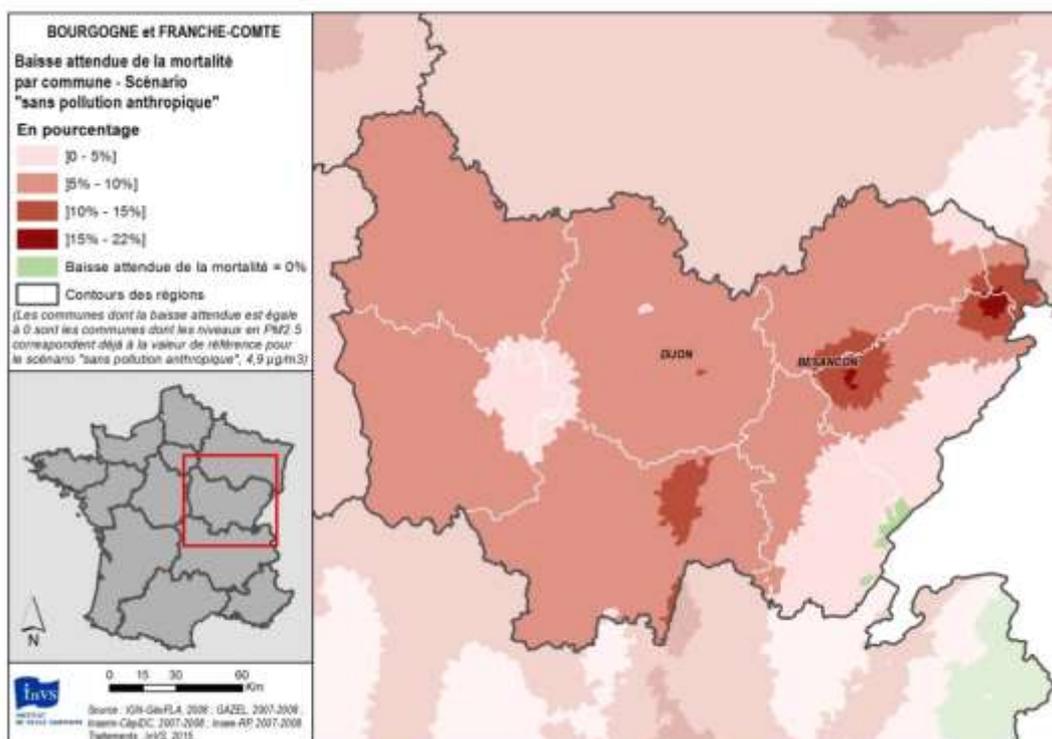
I Tableau 5 I

Nombre total d'années de vie gagnées

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Bourgogne	16 610 [5 775 : 26 636]	12 941 [4 504 : 20 724]	3 344 [1 166 : 5 346]		0
Côte-d'Or (21)	6 124 [2 126 : 9 834]	3 778 [1315 : 6051]	1 492 [520 : 2 386]		0
Nièvre (58)	1 454 [507 : 2 327]	1 233 [430 : 1972]	4 [2 : 7]		0
Saône et Loire (71)	5 666 [1 970 : 9 088]	4 978 [1732 : 7979]	1 459 [509 : 2 332]		0
Yonne (89)	3 368 [1 174 : 5 389]	2 953 [1029 : 4725]	390 [136 : 622]		0
Franche-Comté	13 953 [4 843 : 22 423]	10 969 [3 814 : 17 588]	5 354 [1 863 : 8 578]	960 [335 : 1 533]	0
Doubs (25)	8 061 [2 793 : 12 982]	5 786 [2 010 : 9 287]	3 998 [1 390 : 6 411]	916 [320 : 1464]	0
Haute-Saône (70)	2 352 [819 : 3 767]	2 163 [753 : 3 463]	442 [154 : 705]	20 [7 : 32]	0
Jura (39)	1 490 [519 : 2 386]	1 266 [441 : 2 026]	102 [36 : 162]	0	0
Territoire de Belfort (90)	2 051 [713 : 3 291]	1 756 [611 : 2 815]	814 [284 : 1301]	25 [9 : 39]	0

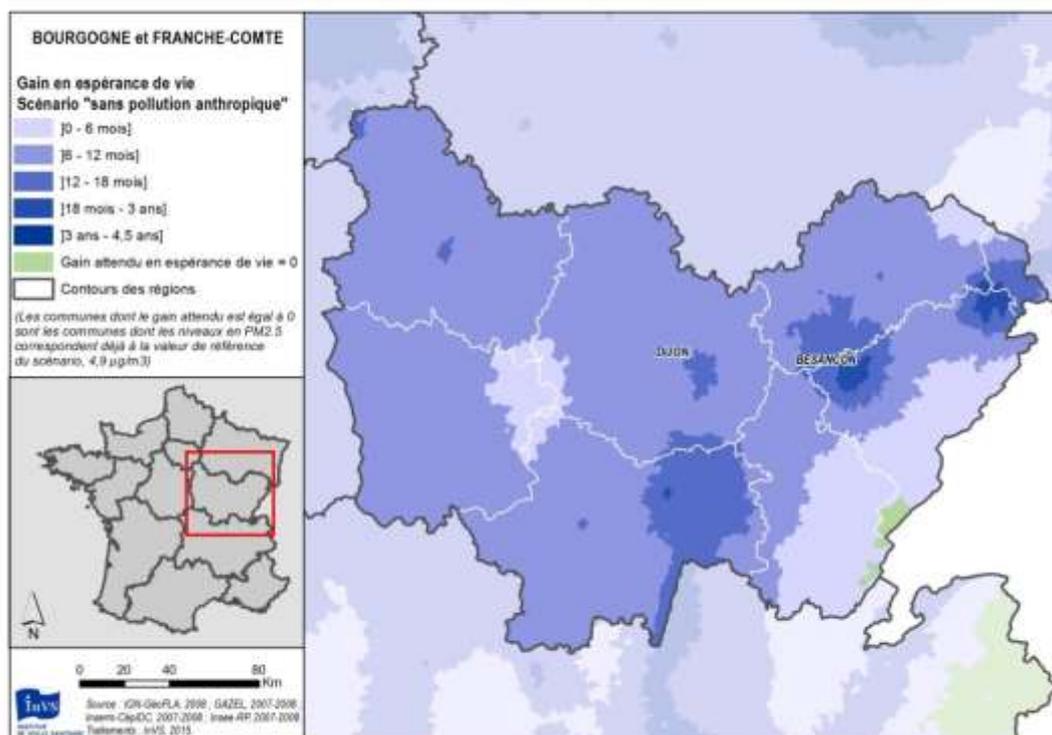
* Les communes équivalentes les moins polluées sont définies à l'échelle de la France, et peuvent donc se trouver dans une autre région.

I Figure 3 I



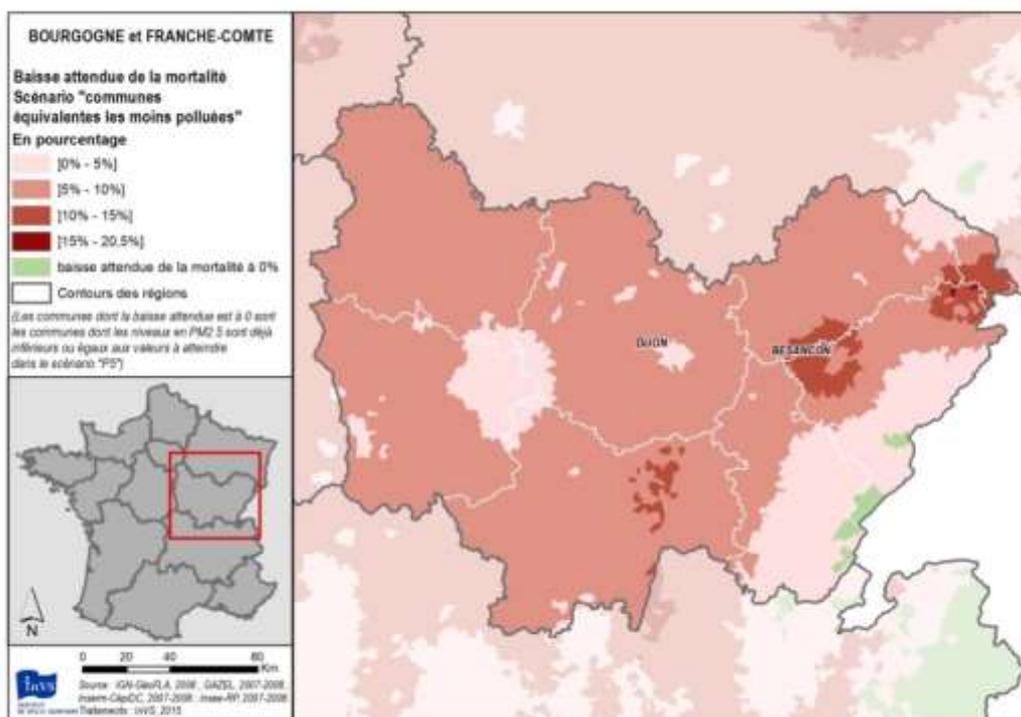
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « sans pollution anthropique » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 4 I



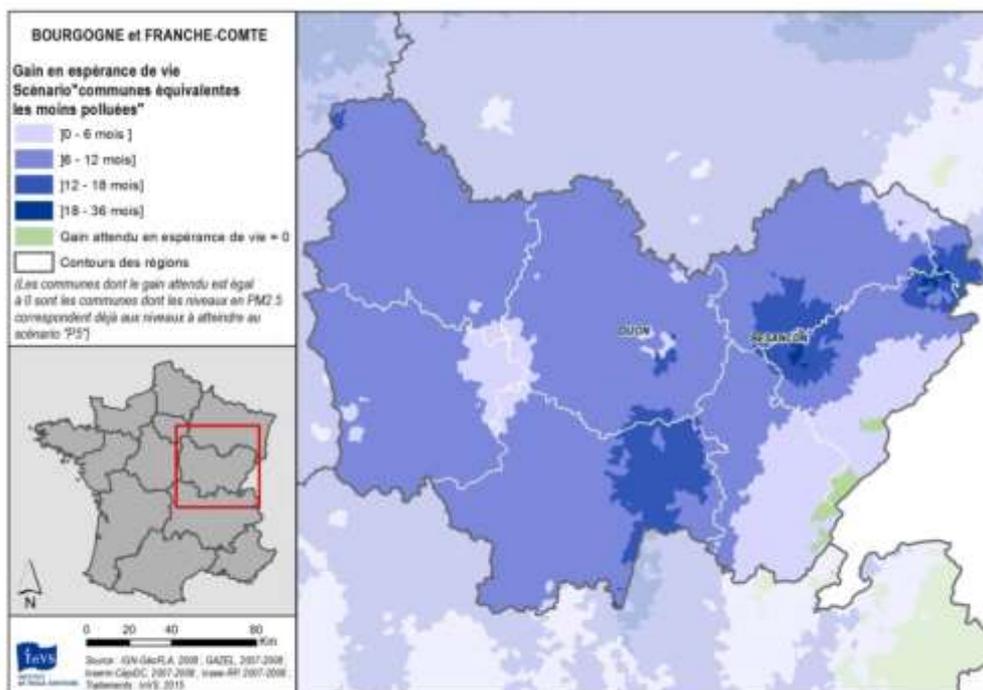
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « sans pollution anthropique »

I Figure 5 I



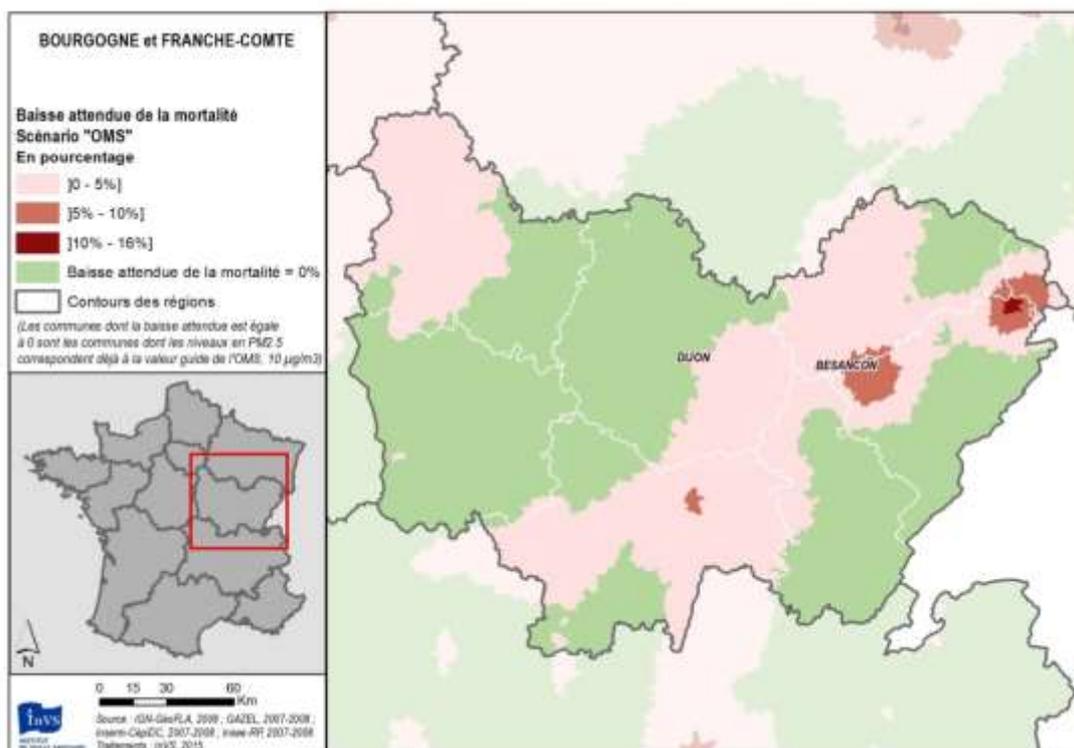
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 6 I



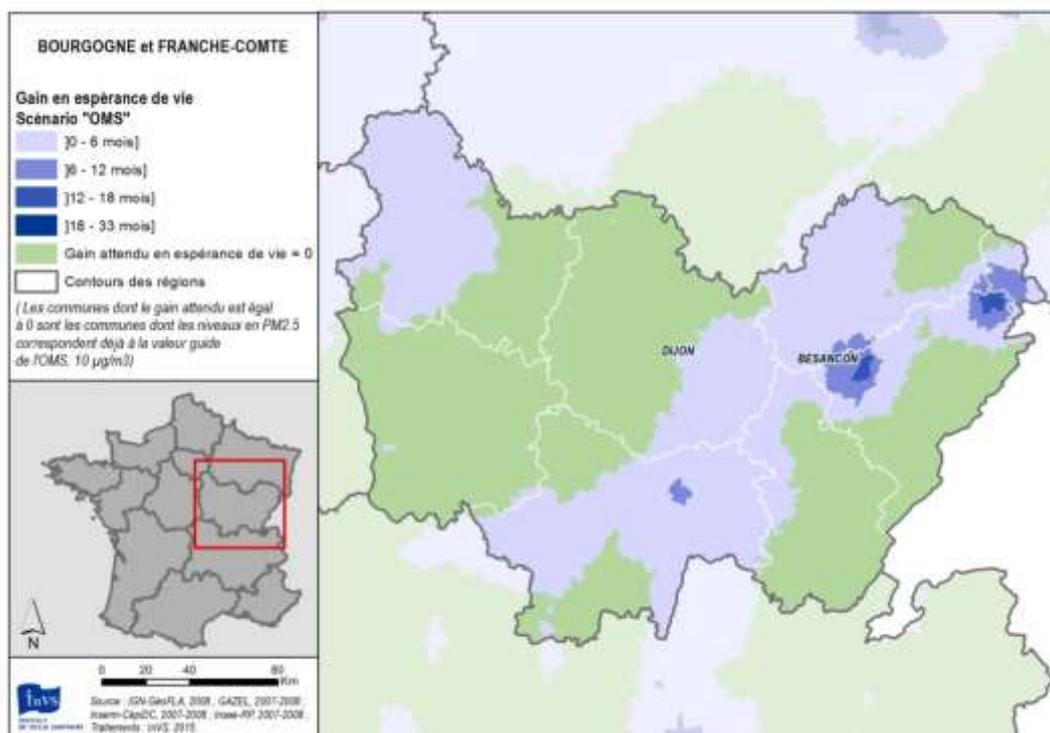
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées »

I Figure 7 I



Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « OMS » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 8 I



Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « OMS »

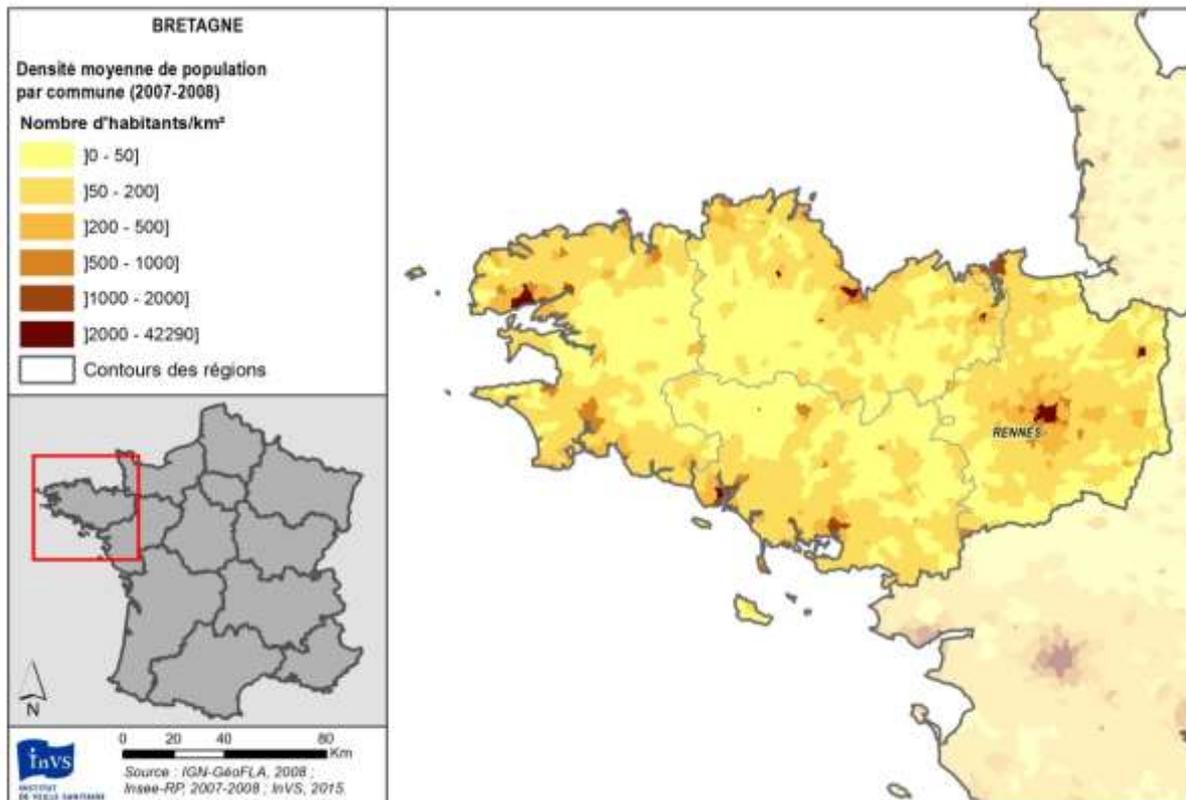
5. Bretagne

| Tableau 1 |

Nombre de communes, populations (tous âges et 30 ans et plus), mortalité totale 30 ans et plus (effectif et taux pour 100 000 habitants)

	Nombre de communes	Population totale	Population âgée de 30 ans et plus	Mortalité totale (30 ans et plus)	Mortalité totale pour 100 000 habitants (30 ans et plus)
Bretagne	1 269	3 133 737	2 008 551	29 916	1 489
Côtes-d'Armor (22)	373	578 051	389 356	6 564	1 686
Finistère (29)	283	887 813	578 422	9 302	1 608
Ille-et-Vilaine (35)	352	961 822	575 876	7 058	1 226
Morbihan (56)	261	706 051	464 897	6 992	1 504

| Figure 1 |



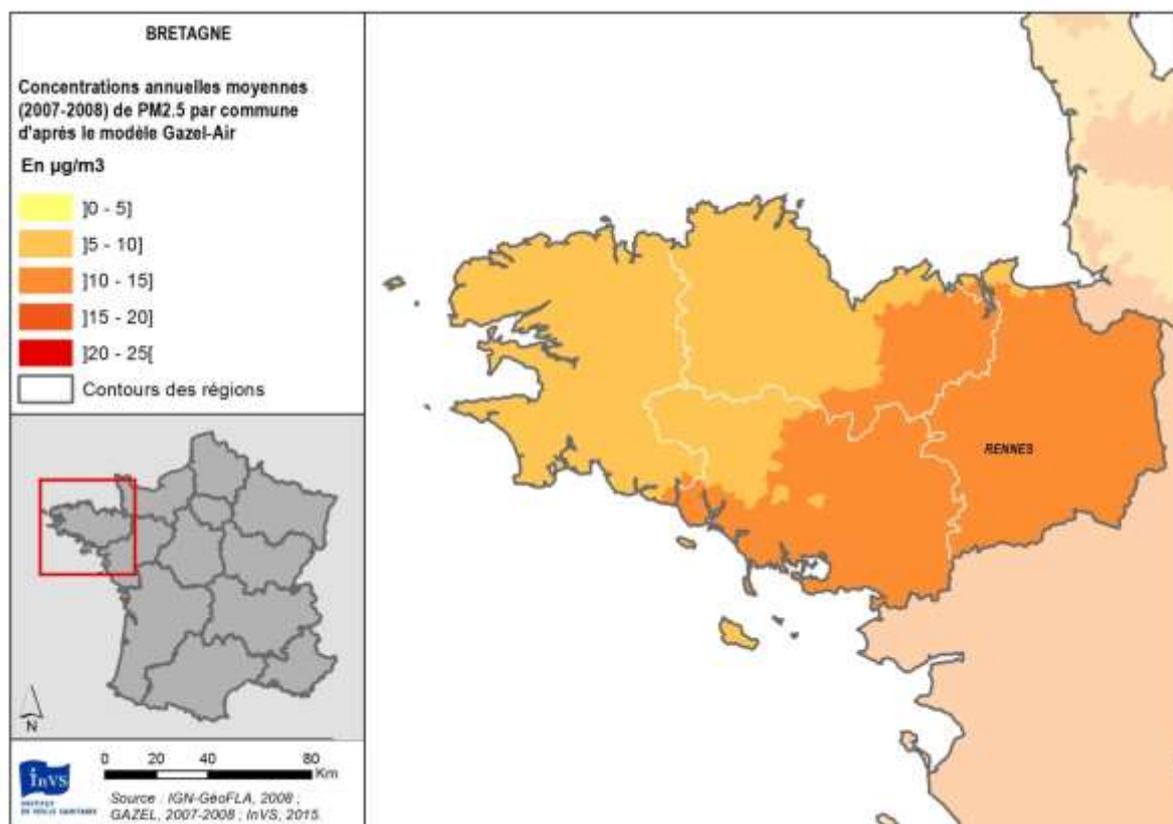
Densité de population (habitants/km²)

I Tableau 2 I

Concentrations annuelles moyennes de PM_{2.5} et population exposée à plus de 10, 15 et 20 µg/m³ en moyenne annuelle au cours de la période 2007-2008

	Concentration annuelle moyenne de PM _{2.5}			Population exposée à plus de		
	Ensemble de la zone µg/m ³	Commune la moins exposée µg/m ³	Commune la plus exposée µg/m ³	10 µg/m ³ en moyenne annuelle	15 µg/m ³ en moyenne annuelle	20 µg/m ³ en moyenne annuelle
Bretagne	10,1	8,2	11,7	1 652 546	0	0
Côtes-d'Armor (22)	9,5	7,2	11,3	139 760	0	0
Finistère (29)	8,6	7,2	10,0	6 706	0	0
Ille-et-Vilaine (35)	11,7	9,6	13,9	880 414	0	0
Morbihan (56)	10,4	8,8	11,7	625 666	0	0

I Figure 2 I



Concentrations annuelles moyennes de PM_{2.5} (moyenne 2007-2008, µg/m³)

I Tableau 3 I

Nombre de décès évitables sous les différents scénarios

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Bretagne	2 084 [746 : 3 252]	1 590 [568 : 2 488]	257 [93 : 406]	0	0
Côtes-d'Armor (22)	407 [145 : 637]	341 [122 : 535]	12 [5 : 20]	0	0
Finistère (29)	490 [173 : 769]	319 [113 : 502]	1 [1 : 1]	0	0
Ille-et-Vilaine (35)	664 [240 : 1030]	519 [186 : 808]	192 [68 : 302]	0	0
Morbihan (56)	523 [188 : 816]	411 [147 : 643]	52 [19 : 83]	0	0

I Tableau 4 I

Gain moyen en espérance de vie à 30 ans (mois)

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Bretagne	9 [3 : 14]	8 [3 : 13]	2 [1 : 3]	0	0
Côtes-d'Armor (22)	9 [3 : 14]	8 [3 : 13]	2 [1 : 2]	0	0
Finistère (29)	7 [3 : 11]	6 [2 : 10]	1 [1 : 1]	0	0
Ille-et-Vilaine (35)	12 [4 : 18]	11 [4 : 17]	3 [1 : 5]	0	0
Morbihan (56)	10 [4 : 16]	10 [4 : 15]	2 [1 : 2]	0	0

* Les communes équivalentes les moins polluées sont définies à l'échelle de la France, et peuvent donc se trouver dans une autre région.

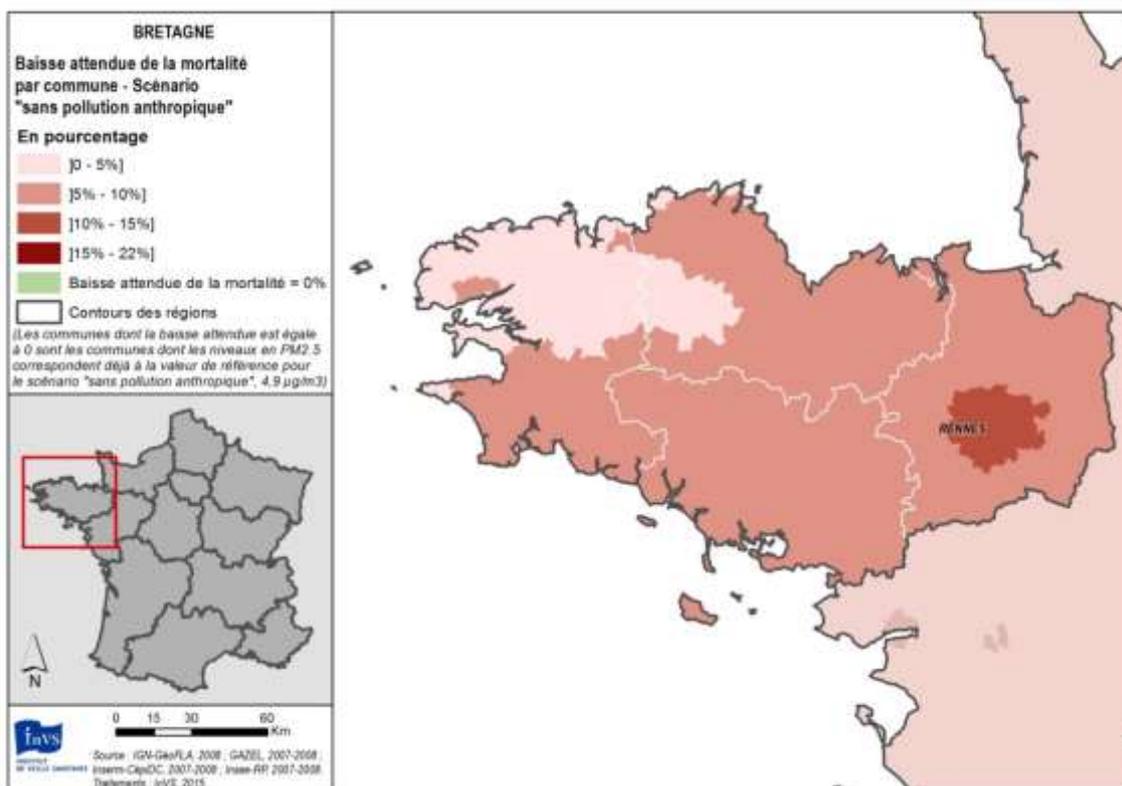
I Tableau 5 I

Nombre total d'années de vie gagnées

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Bretagne	30176	22126	5279	0	0
	[10499:48354]	[7704:35423]	[1840:8441]		
Côtes-d'Armor (22)	4150	3480	130	0	0
	[1446:6640]	[1213:5566]	[46:208]		
Finistère (29)	5747	3332	1	0	0
	[2003:9189]	[1162:5325]	[1:1]		
Ille-et-Vilaine (35)	13718	10251	4490	0	0
	[4767:22014]	[3567:16425]	[1565:7182]		
Morbihan (56)	6563	5065	659	0	0
	[2284:10512]	[1763:8109]	[230:1052]		

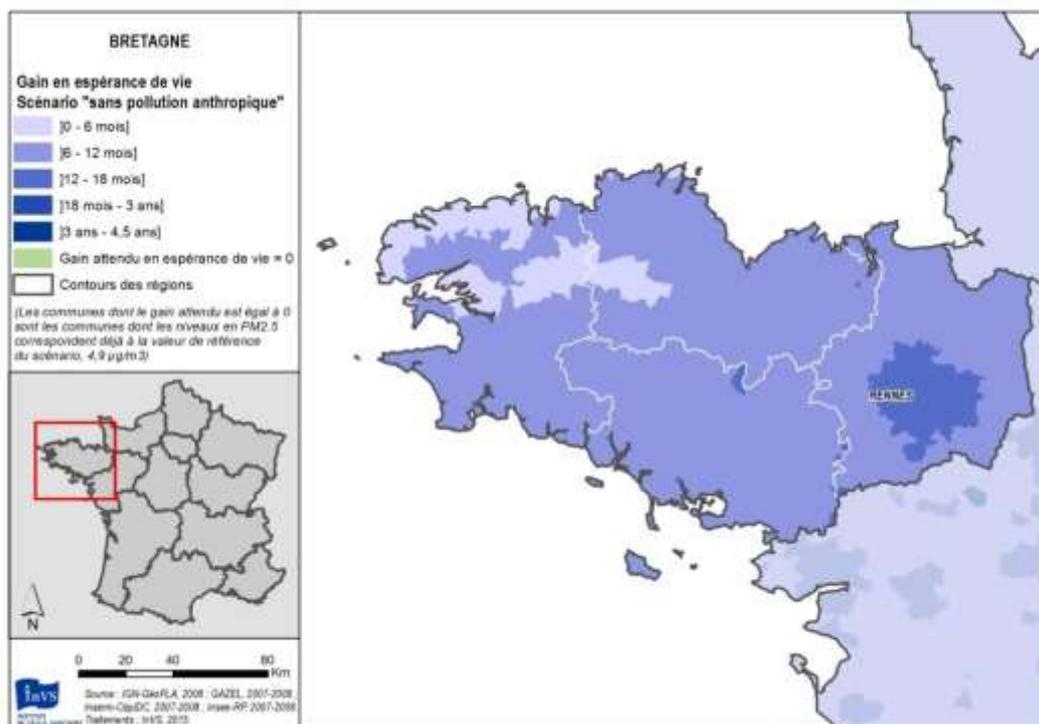
* Les communes équivalentes les moins polluées sont définies à l'échelle de la France, et peuvent donc se trouver dans une autre région.

I Figure 3 I



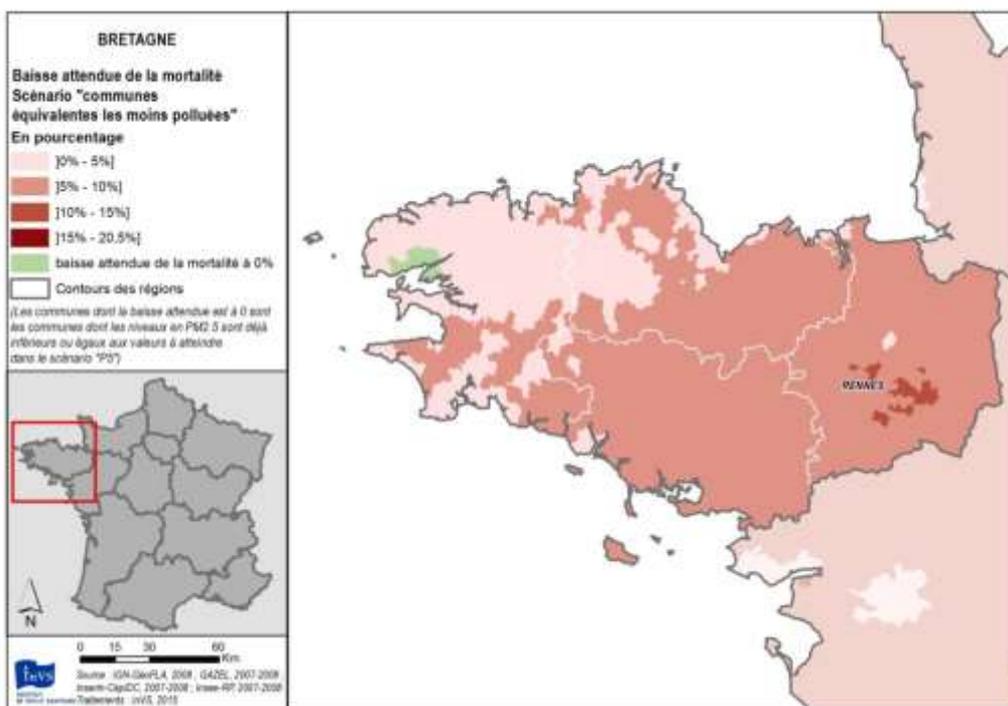
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « sans pollution anthropique » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 4 I



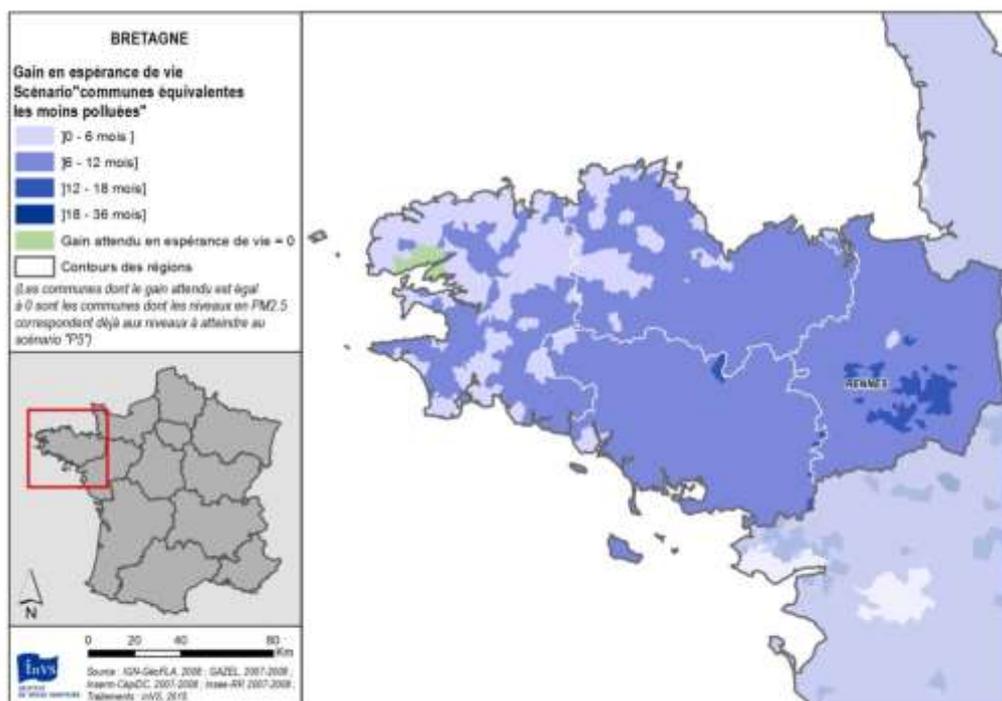
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « sans pollution anthropique »

I Figure 5 I



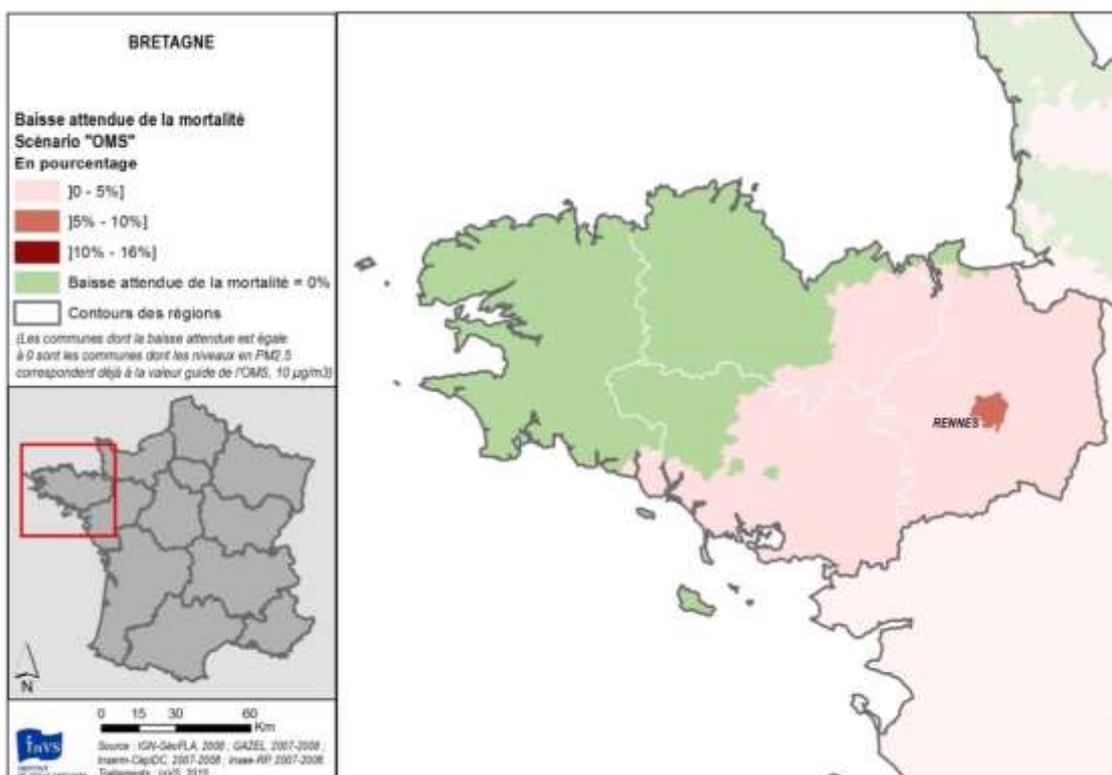
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 6 I



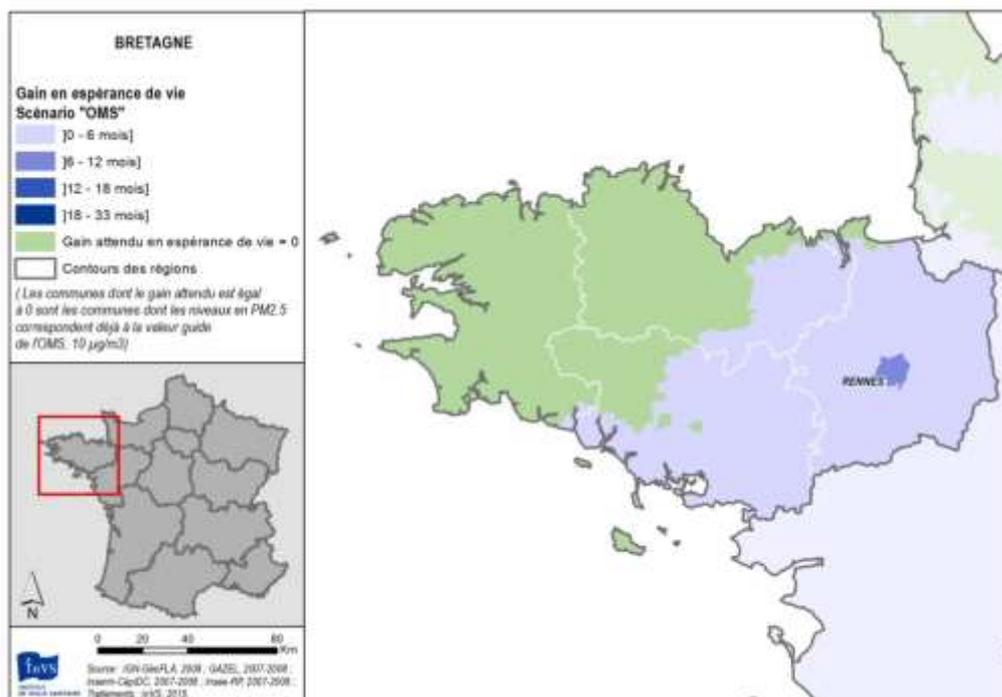
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées »

I Figure 7 I



Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « OMS » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 8 I



Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « OMS »

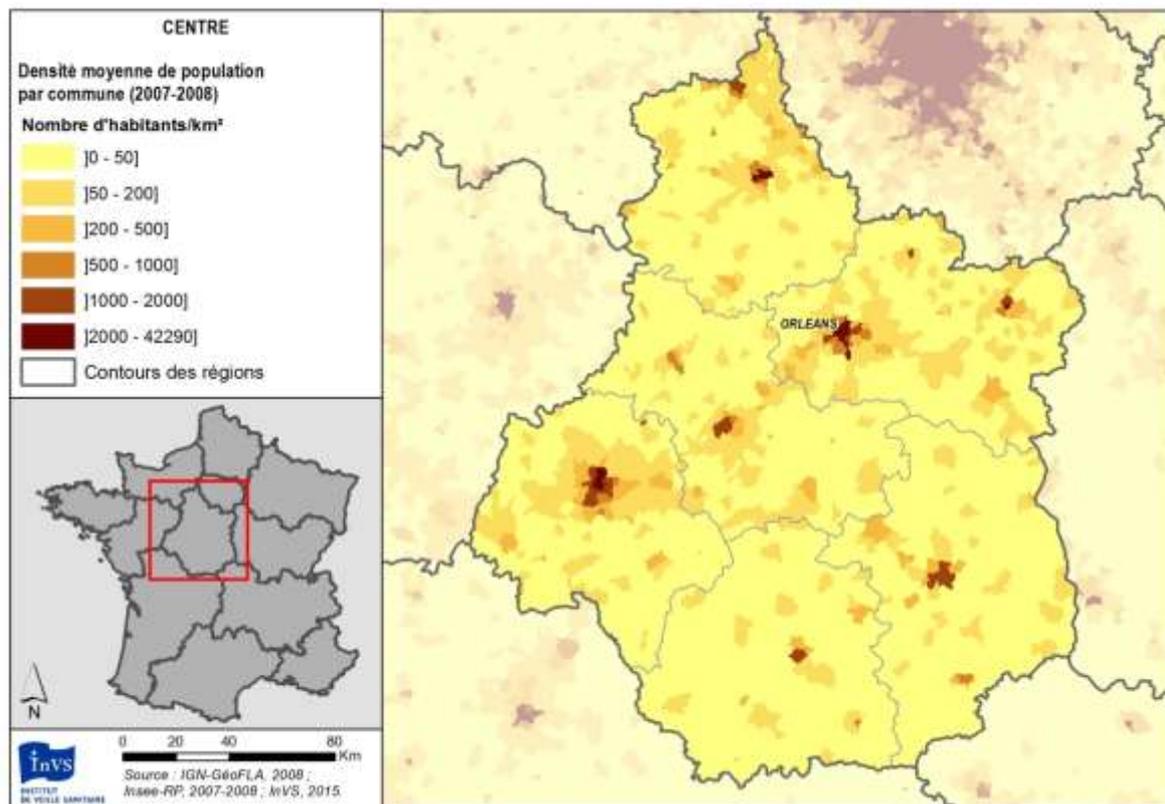
6. Centre-Val de Loire

I Tableau 1 I

Nombre de communes, populations (tous âges et 30 ans et plus), mortalité totale 30 ans et plus (effectif et taux pour 100 000 habitants)

	Nombre de communes	Population totale	Population âgée de 30 ans et plus	Mortalité totale (30 ans et plus)	Mortalité totale pour 100 000 habitants (30 ans et plus)
Centre- Val de Loire	1 842	2 530 158	1 634 119	23 673	1 449
Cher (18)	290	314 116	212 826	3 551	1 668
Eure-et-Loir (28)	403	423 222	266 724	3 623	1 358
Indre (36)	247	232 484	162 069	2 903	1 791
Indre et Loire (37)	277	584 263	368 784	4 867	1 320
Loir-et-Cher (41)	291	326 556	219 179	3 443	1 571
Loiret (45)	334	649 518	404 539	5 287	1 307

I Figure 1 I



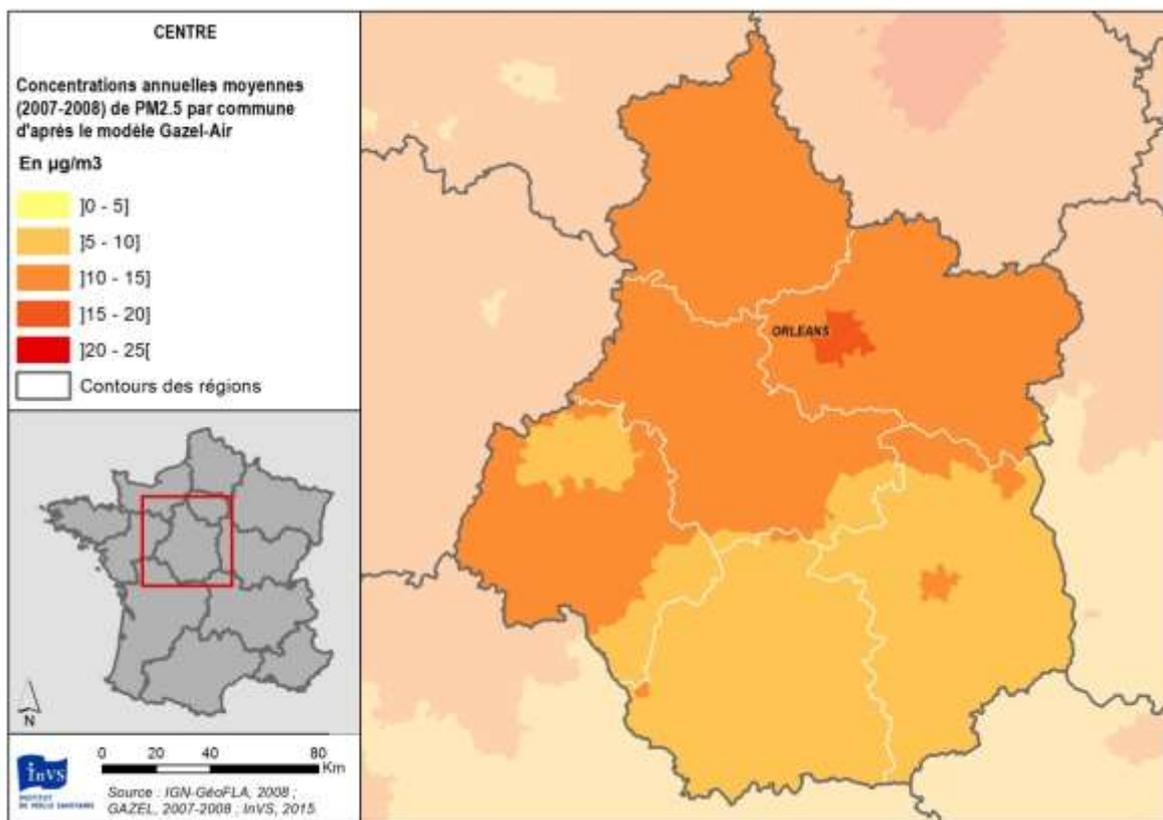
Densité de population (habitants/km²)

I Tableau 2 I

Concentrations annuelles moyennes de PM_{2.5} et population exposée à plus de 10, 15 et 20 µg/m³ en moyenne annuelle au cours de la période 2007-2008

	Concentration annuelle moyenne de PM _{2.5}			Population exposée à plus		
	Ensemble de la zone µg/m ³	Commune la moins exposée µg/m ³	Commune la plus exposée µg/m ³	de 10 µg/m ³ en moyenne annuelle	de 15 µg/m ³ en moyenne annuelle	de 20 µg/m ³ en moyenne annuelle
Centre- Val de Loire	10,6	7,8	16,9	1 970 562	266 498	0
Cher (18)	9,3	7,9	10,6	99 744	0	0
Eure-et-Loir (28)	11,5	10,5	12,9	423 222	0	0
Indre (36)	9,1	7,8	10,1	3 983	0	0
Indre-et-Loire	10,4	8,6	13,3	487 415	0	0
Loir-et-Cher (41)	10,7	9,5	11,8	307 131	0	0
Loiret (45)	11,9	9,9	16,9	649 068	266 498	0

I Figure 2 I



Concentrations annuelles moyennes de PM_{2.5} (moyenne 2007-2008, µg/m³)

I Tableau 3 |

Nombre de décès évitables sous les différents scénarios

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Centre- Val de Loire	1 945 [700 : 3 021]	1 530 [547 : 2 390]	399 [141 : 628]	31 [11 : 49]	0
Cher (18)	225 [80 : 353]	190 [68 : 299]	3 [1 : 6]	0	0
Eure-et-Loir (28)	328 [118 : 509]	291 [104 : 453]	84 [30 : 134]	0	0
Indre (36)	171 [61 : 268]	146 [52 : 230]	0 [0 : 0]	0	0
Indre-et-Loire	382 [137 : 596]	216 [77 : 339]	55 [19 : 87]	0	0
Loir-et-Cher (41)	269 [96 : 419]	238 [85 : 372]	35 [12 : 55]	0	0
Loiret (45)	570 [207 : 878]	448 [161 : 697]	222 [79 : 347]	31 [11 : 49]	

I Tableau 4 |

Gain moyen en espérance de vie à 30 ans (mois)

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Centre- Val de Loire	11 [4 : 17]	10 [4 : 16]	3 [1 : 4]	2 [1 : 3]	0
Cher (18)	8 [3 : 13]	8 [3 : 13]	1 [1 : 1]	0	0
Eure-et-Loir (28)	12 [5 : 19]	12 [4 : 19]	3 [1 : 5]	0	0
Indre (36)	8 [3 : 12]	8 [3 : 12]	1 [1 : 1]	0	0
Indre-et-Loire	10 [4 : 16]	9 [3 : 14]	2 [1 : 2]	0	0
Loir-et-Cher (41)	11 [4 : 17]	10 [4 : 16]	2 [1 : 3]	0	0
Loiret (45)	13 [5 : 20]	12 [5 : 19]	4 [2 : 6]	2 [1 : 3]	

* Les communes équivalentes les moins polluées sont définies à l'échelle de la France, et peuvent donc se trouver dans une autre région.

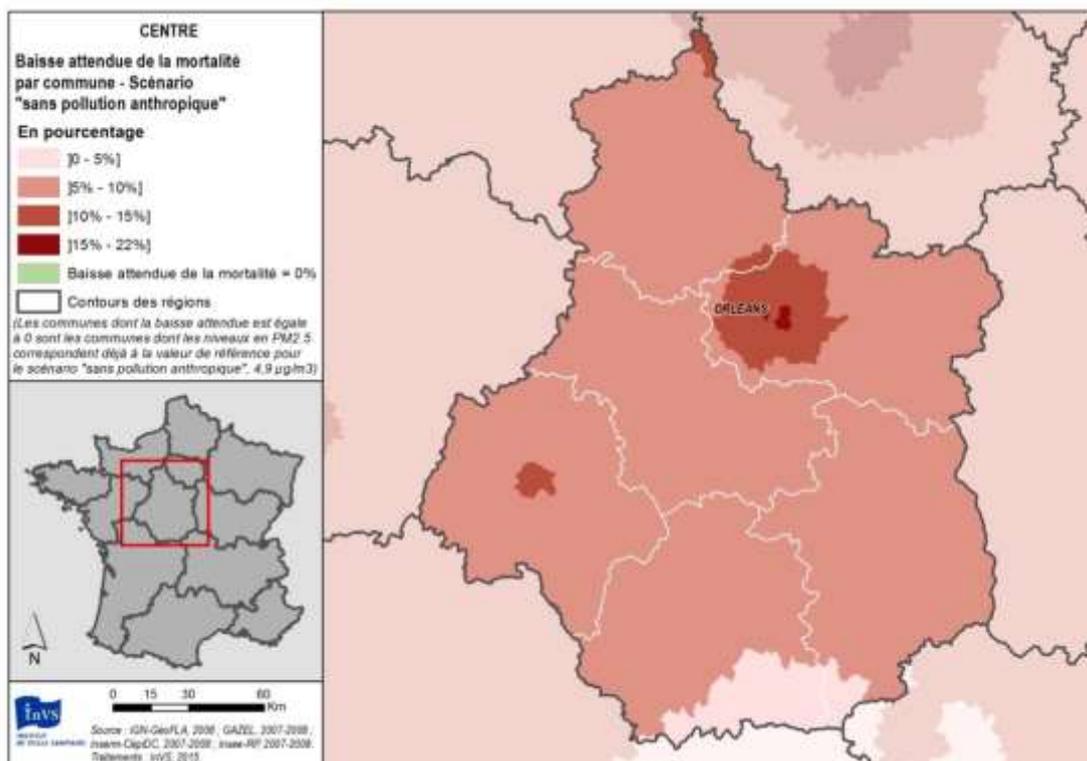
I Tableau 5 |

Nombre total d'années de vie gagnées

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Centre- Val de Loire	28 797	21 592	7 425	774	0
Cher (18)	2 358	1 958	40	0	0
Eure-et-Loir (28)	5 171	4 559	1 353	0	0
Indre (36)	1 464	1 217	0 [0 : 0]	0	0
Indre-et-Loire	5 782	3 056	868	0	0
Loir-et-Cher (41)	3 179	2 774	449	0	0
Loiret (45)	10 843	8 027	4 716	774	

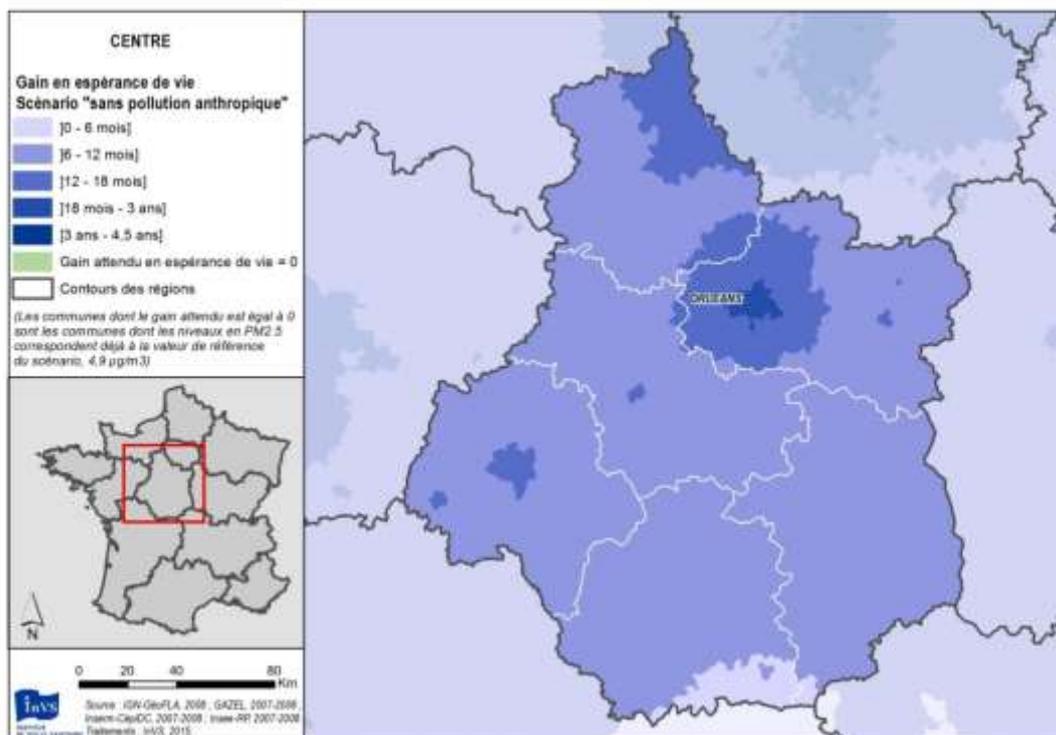
* Les communes équivalentes les moins polluées sont définies à l'échelle de la France, et peuvent donc se trouver dans une autre région.

I Figure 3 I



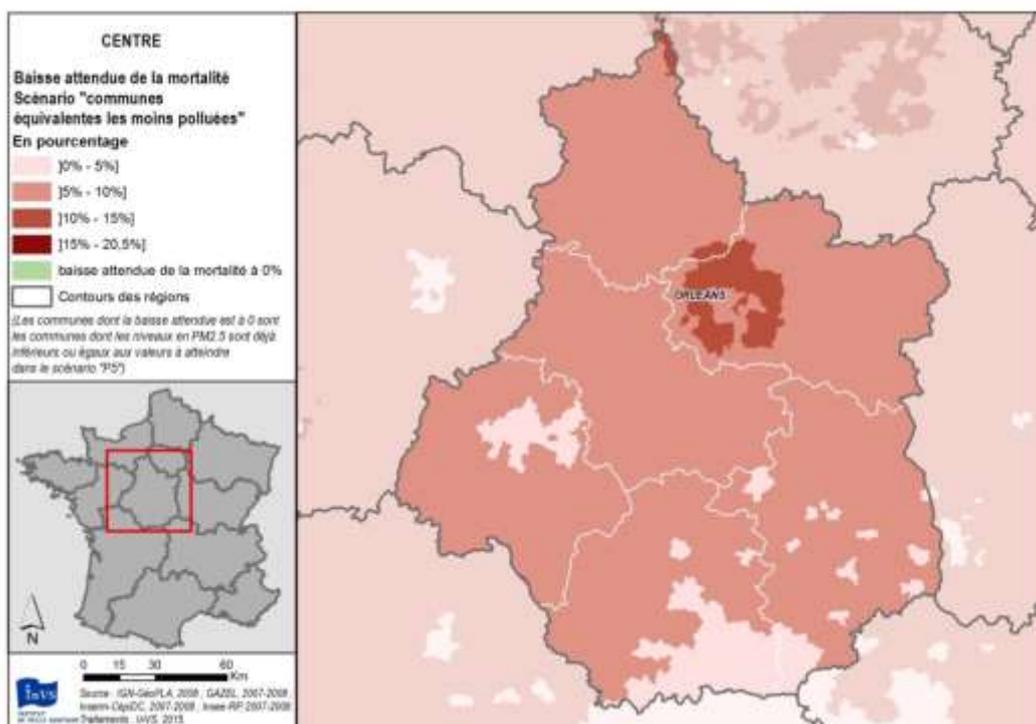
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « sans pollution anthropique » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 4 I



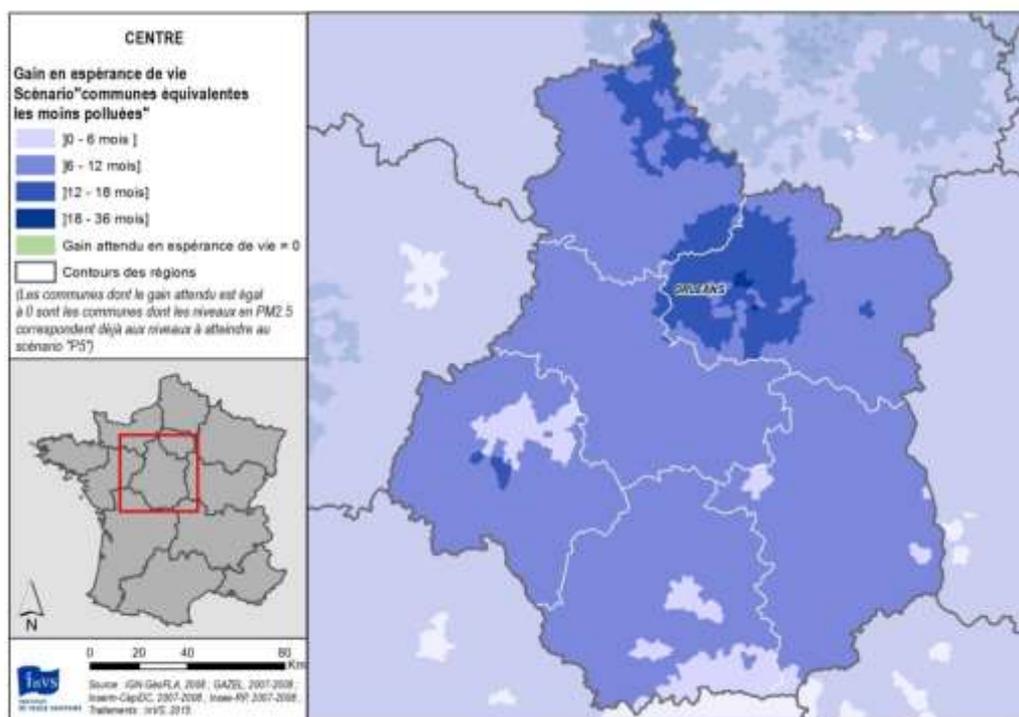
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « sans pollution anthropique »

I Figure 5 I



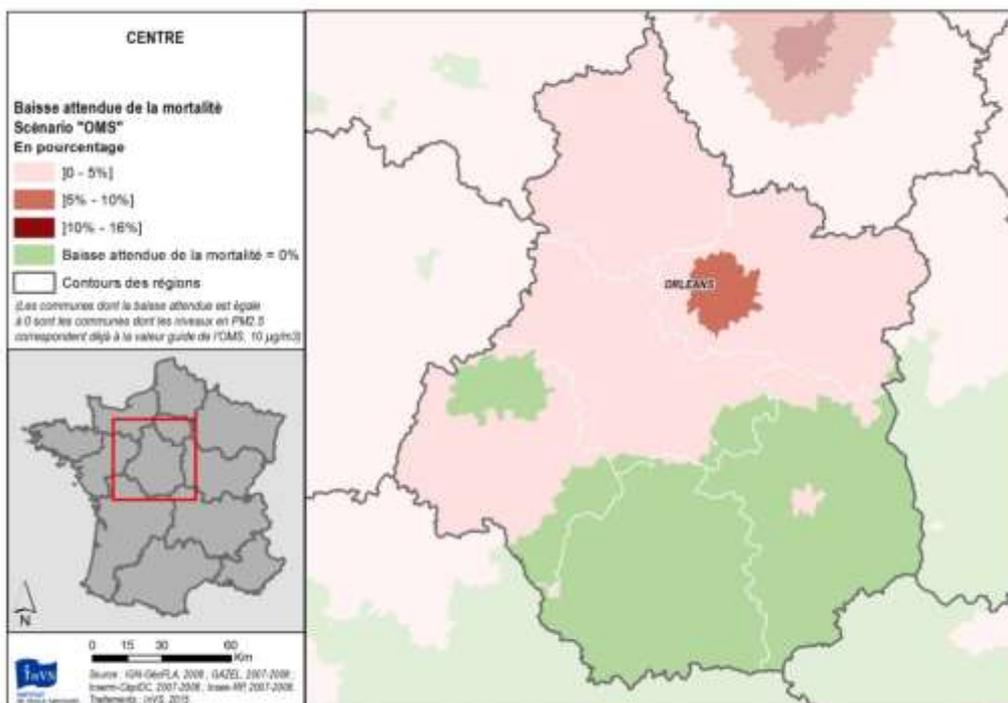
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 6 I



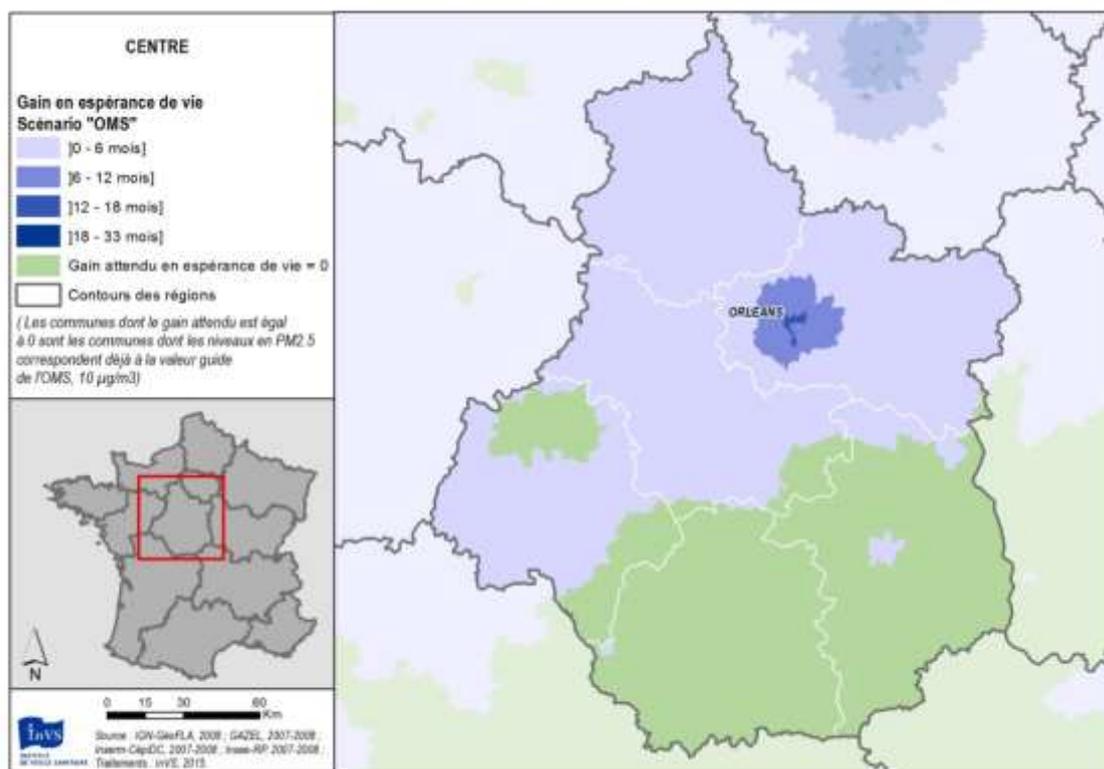
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées »

I Figure 7 I



Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « OMS » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 8 I



Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « OMS »

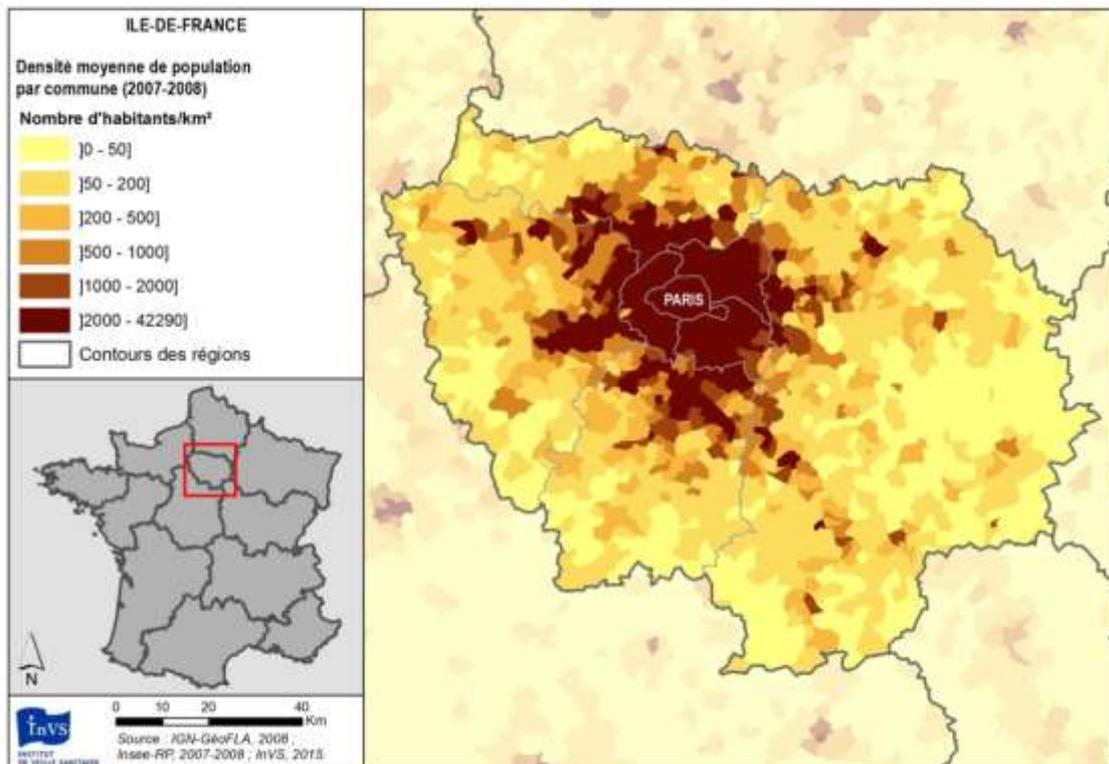
7. Île-de-France

I Tableau 1 I

Nombre de communes, populations (tous âges et 30 ans et plus), mortalité totale 30 ans et plus (effectif et taux pour 100 000 habitants)

	Nombre de communes	Population totale	Population âgée de 30 ans et plus	Mortalité totale (30 ans et plus)	Mortalité totale pour 100 000 habitants (30 ans et plus)
Île-de-France	1 300	11 620 148	6 899 653	67 953	985
Paris (75)	20	2 193 043	1 359 704	13 770	1 013
Hauts-de-Seine (92)	36	1 547 037	933 962	9 264	992
Seine-St-Denis (93)	40	1 504 437	846 013	7 903	934
Val de Marne (94)	47	1 306 862	783 344	7 848	1 002
Seine-et-Marne (77)	514	1 296 970	757 459	7 970	1 052
Yvelines (78)	262	1 405 063	841 815	8 003	951
Essonne (91)	196	1 203 811	712 277	6 742	947
Val d'Oise (95)	185	1 162 927	665 081	6 455	970

I Figure 1 I



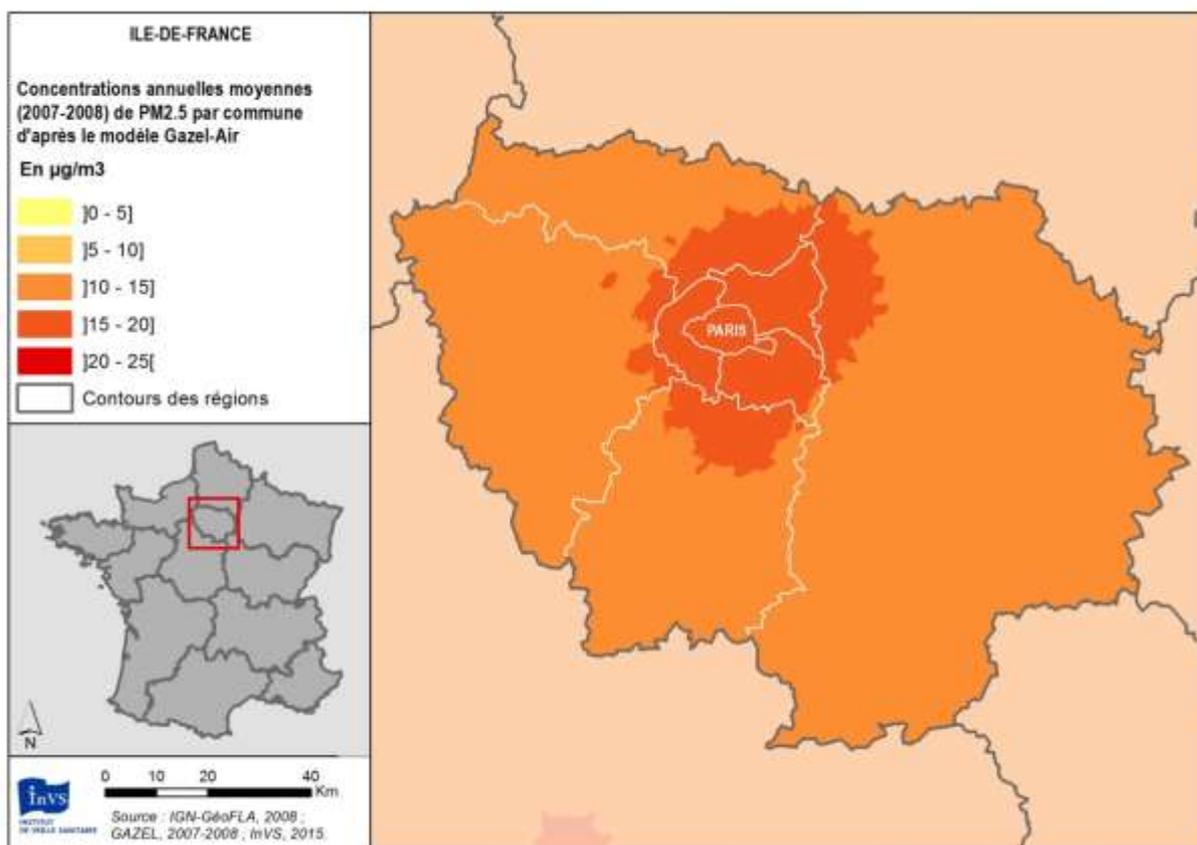
Densité de population (habitants/km²)

I Tableau 2 I

Concentrations annuelles moyennes de PM_{2.5} et population exposée à plus de 10, 15 et 20 µg/m³ en moyenne annuelle au cours de la période 2007-2008

	Concentration annuelle moyenne de PM _{2.5}			Population exposée à plus de		
	Ensemble de la zone µg/m ³	Commune la moins exposée µg/m ³	Commune la plus exposée µg/m ³	10 µg/m ³ en moyenne annuelle	15 µg/m ³ en moyenne annuelle	20 µg/m ³ en moyenne annuelle
Ile-de-France	13,8	11,0	19,6	11 620 148	8 680 140	0
Paris (75)	18,9	18,5	19,3	2 193 043	2 193 043	0
Hauts-de-Seine (92)	17,8	15,4	19,6	1 547 037	1 547 037	0
Seine-St-Denis (93)	17,9	16,6	18,9	1 504 437	1 504 437	0
Val de Marne (94)	17,2	14,5	18,9	1 306 862	1 296 666	0
Seine-et-Marne (77)	12,8	11,0	17,1	1 296 970	313 567	0
Yvelines (78)	13,3	11,9	16,3	1 405 063	395 898	0
Essonne (91)	13,5	11,4	17,5	1 203 811	733 648	0
Val d'Oise (95)	14,3	12,6	17,8	1 162 927	695 845	0

I Figure 2 I



Concentrations annuelles moyennes de PM_{2.5} (moyenne 2007-2008, µg/m³)

I Tableau 3 I

Nombre de décès évitables sous les différents scénarios

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Île-de-France	10 249	7 068	5 986	1 889	0
	[3 777 : 15 588]	[2 561 : 10 914]	[2 160 : 9 276]	[670 : 2 976]	
Paris (75)	2441 [907 : 3685]	1739 [634 : 2669]	1604 [583 : 2469]	723 [257 : 1136]	0
Hauts-de-Seine (92)	1557 [577 : 2358]	1080 [393 : 1662]	988 [358 : 1526]	389 [138 : 612]	0
Seine-St-Denis (93)	1324 [490 : 2005]	916 [333 : 1411]	838 [304 : 1294]	326 [116 : 514]	0
Val de Marne (94)	1285 [475 : 1948]	879 [319 : 1354]	800 [290 : 1237]	290 [103 : 458]	0
Seine-et-Marne (77)	898 [327 : 1383]	687 [248 : 1066]	376 [134 : 589]	27 [10 : 43]	0
Yvelines (78)	979 [357 : 1504]	608 [218 : 948]	460 [164 : 721]	18 [7 : 28]	0
Essonne (91)	877 [321 : 1344]	570 [205 : 886]	444 [159 : 694]	48 [17 : 77]	0
Val d'Oise (95)	892 [327 : 1363]	593 [214 : 920]	481 [173 : 749]	71 [25 : 113]	0

I Tableau 4 I

Gain moyen en espérance de vie à 30 ans (mois)

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Île-de-France	16 [6 :26]	13 [5 :21]	7 [3 :11]	4 [2 :6]	0
Paris (75)	27 [10 : 44]	19 [7 : 30]	17 [6 : 27]	8 [3 : 12]	0
Hauts-de-Seine (92)	24 [9 : 39]	16 [6 : 26]	15 [5 : 23]	6 [2 : 9]	0
Seine-St-Denis (93)	26 [9 : 42]	18 [6 : 28]	16 [6 : 25]	6 [2 : 9]	0
Val de Marne (94)	24 [9 : 39]	16 [6 : 25]	14 [5 : 23]	5 [2 : 8]	0
Seine-et-Marne (77)	14 [5 : 22]	13 [5 : 20]	5 [2 : 8]	2 [1 : 3]	0
Yvelines (78)	15 [6 : 24]	12 [5 : 20]	6 [3 : 10]	2 [1 : 2]	0
Essonne (91)	16 [6 : 25]	12 [5 : 19]	7 [3 : 10]	2 [1 : 3]	0
Val d'Oise (95)	17 [6 : 27]	14 [5 : 22]	8 [3 : 12]	2 [1 : 4]	0

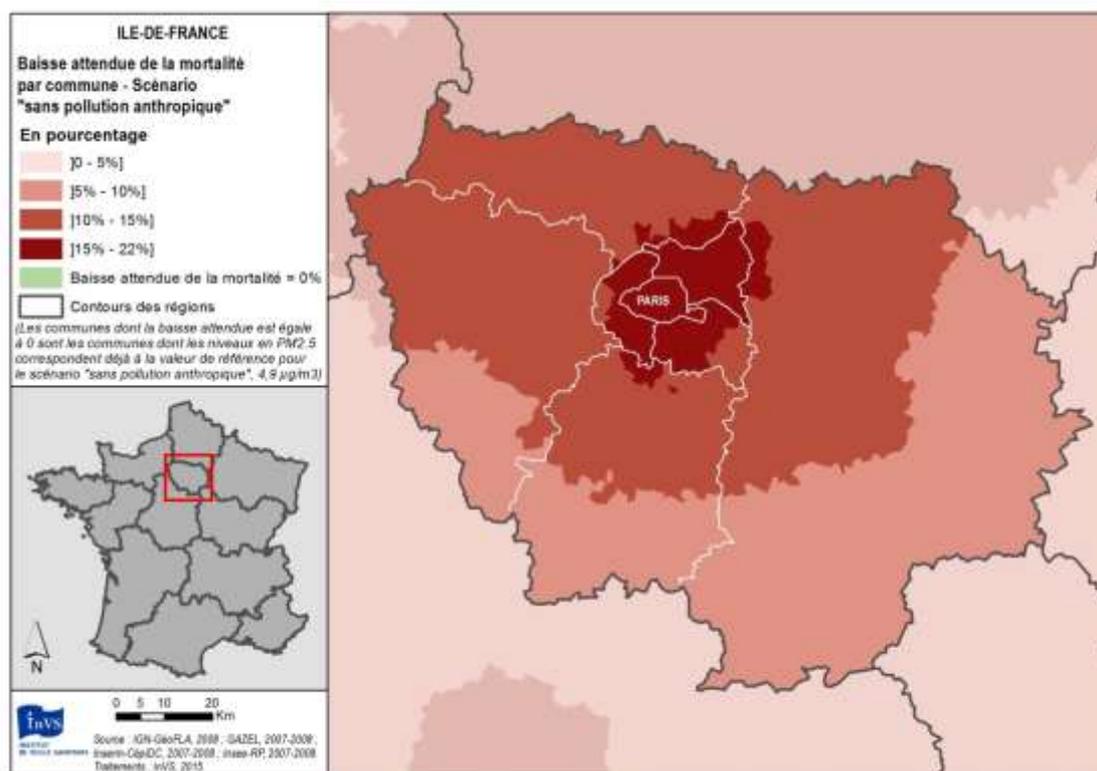
* Les communes équivalentes les moins polluées sont définies à l'échelle de la France, et peuvent donc se trouver dans une autre région.

I Tableau 5 I

Nombre total d'années de vie gagnées

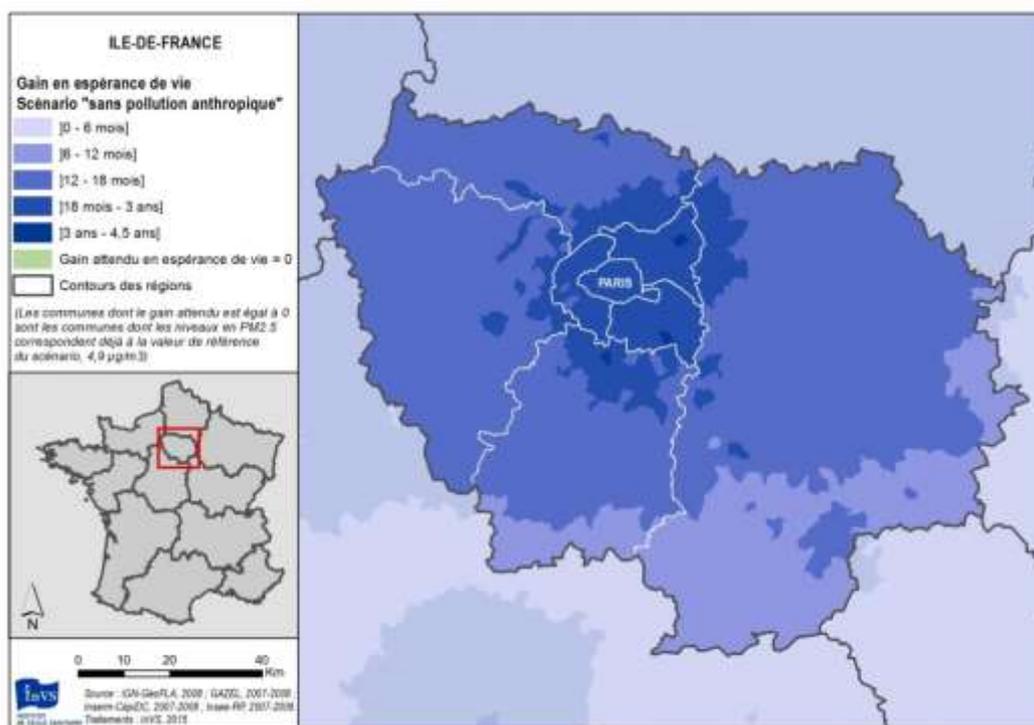
	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Île-de-France	335 999	223 017	192 760	61 619	0
	[115 579 : 545 006]	[77 125 : 359 527]	[66 722 : 10 434]	[21 435 : 98 719]	
Paris (75)	93 577	64 388	58 847	25 313	0
	[32 115 : 152 203]	[22 228 : 104 002]	[20 337 : 949 39]	[8 801 : 40 577]	
Hauts-de-Seine (92)	52 776	35 485	32 202	12 317	0
	[18 136 : 85 713]	[12 263 : 57 253]	[11 139 : 51 897]	[4 285 : 19 733]	
Seine-St-Denis (93)	48 715	32 563	294 99	10958	0
	[16 722 : 79 183]	[1 1246 : 52 563]	[10 199 : 47 559]	[3813 : 17 553]	
Val de Marne (94)	40 532	26 810	24 206	8454	0
	[13 922 : 65 844]	[9 264 : 43 255]	[8 373 : 39 007]	[2942 : 13 540]	
Seine-et-Marne (77)	22 661	16 212	9 894	794	0
	[7 856 : 36 454]	[5 633 : 26 012]	[3 443 : 15 849]	[277 : 1 269]	
Yvelines (78)	26 358	15 480	11 991	453	0
	[9 096 : 42 587]	[5 369 : 24 875]	[4 165 : 19 242]	[158 : 724]	
Essonne (91)	25 877	15 962	12 862	1401	0
	[8 926 : 41 837]	[5 534 : 25 665]	[4 464 : 20 655]	[489 : 2 239]	
Val d'Oise (95)	25 506	16 120	13 264	1 932	0
	[8 810 : 41 190]	[5 592 : 25 905]	[4 606 : 21 290]	[674 : 3 088]	

I Figure 3 I



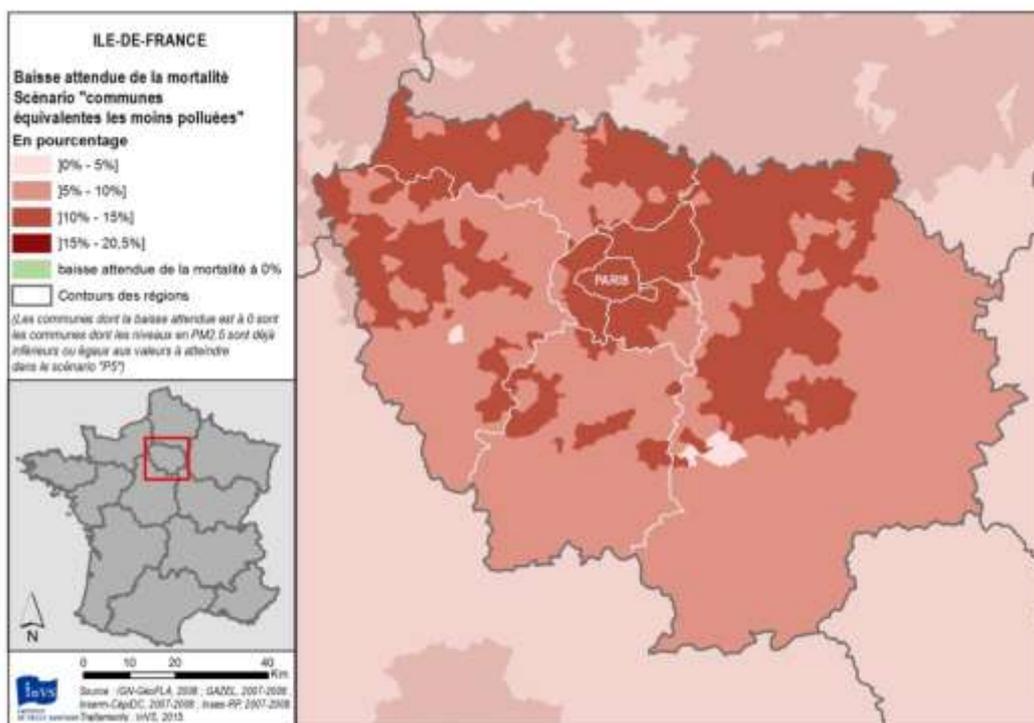
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « sans pollution anthropique » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 4 I



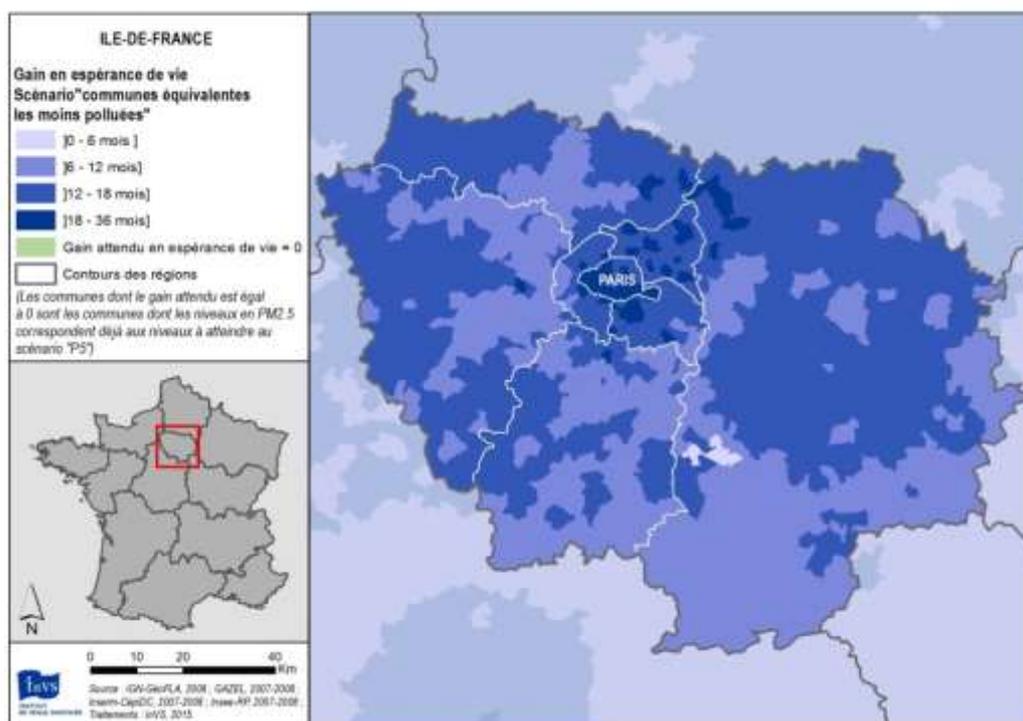
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « sans pollution anthropique »

I Figure 5 I



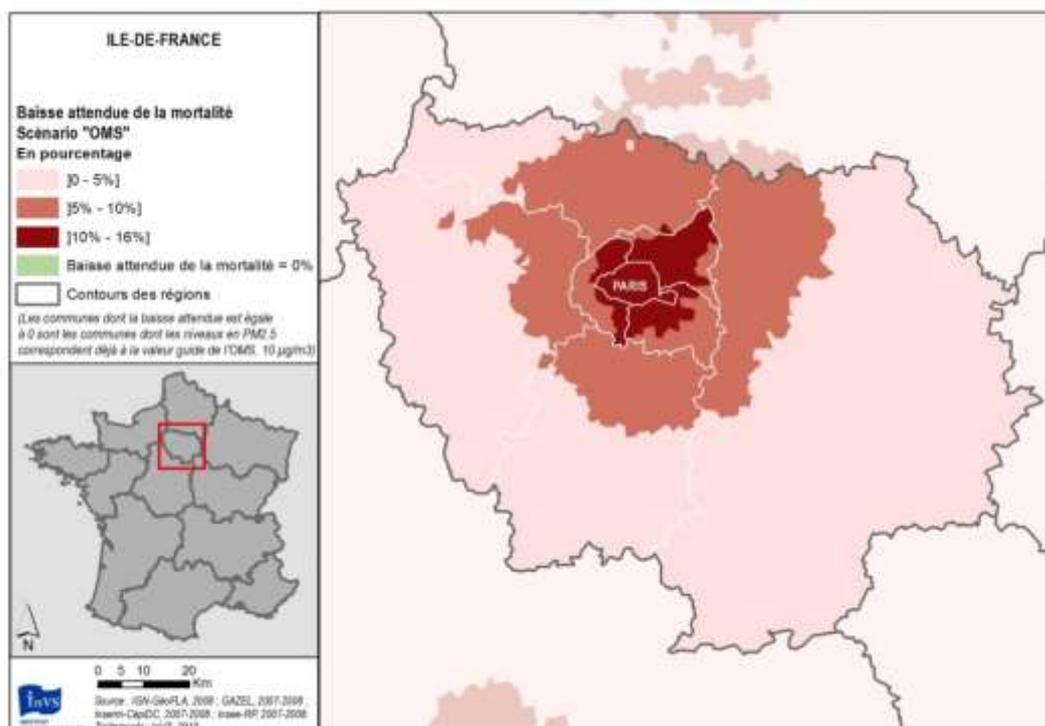
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 6 I



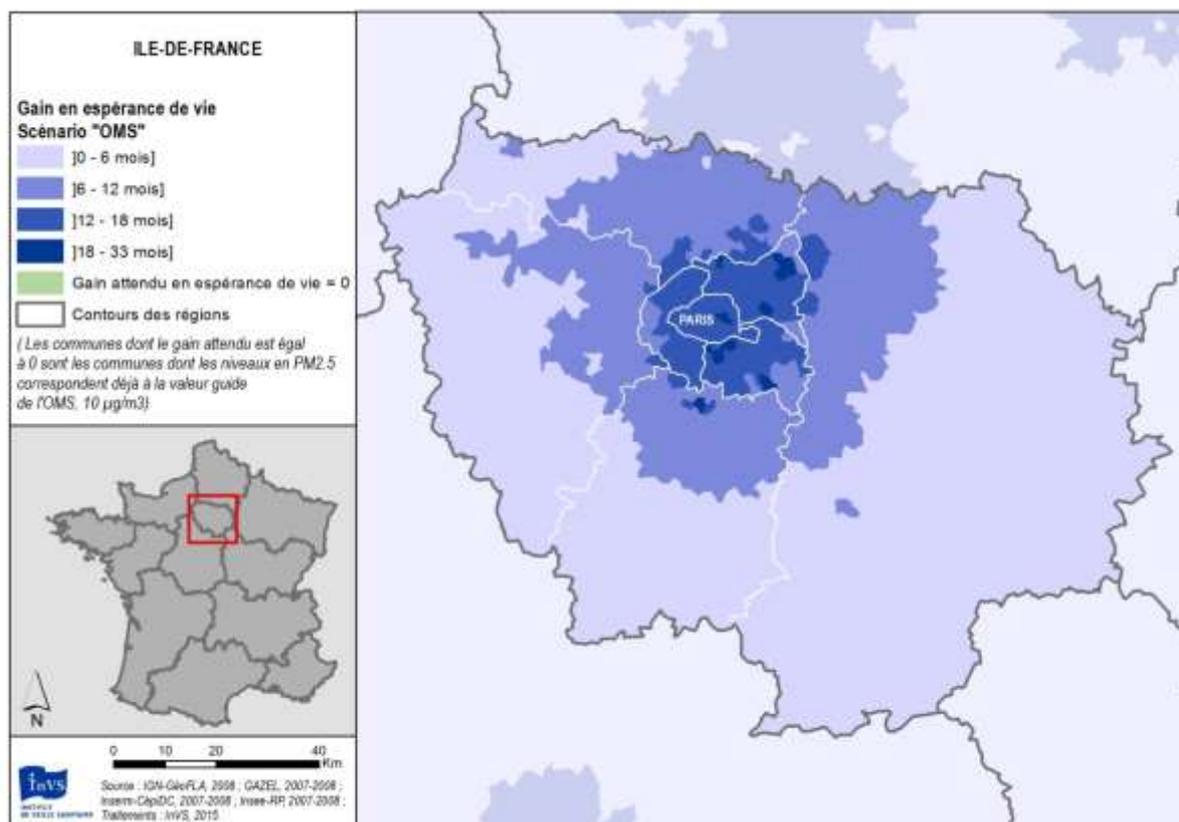
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées »

I Figure 7 I



Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « OMS » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 8 I



Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « OMS »

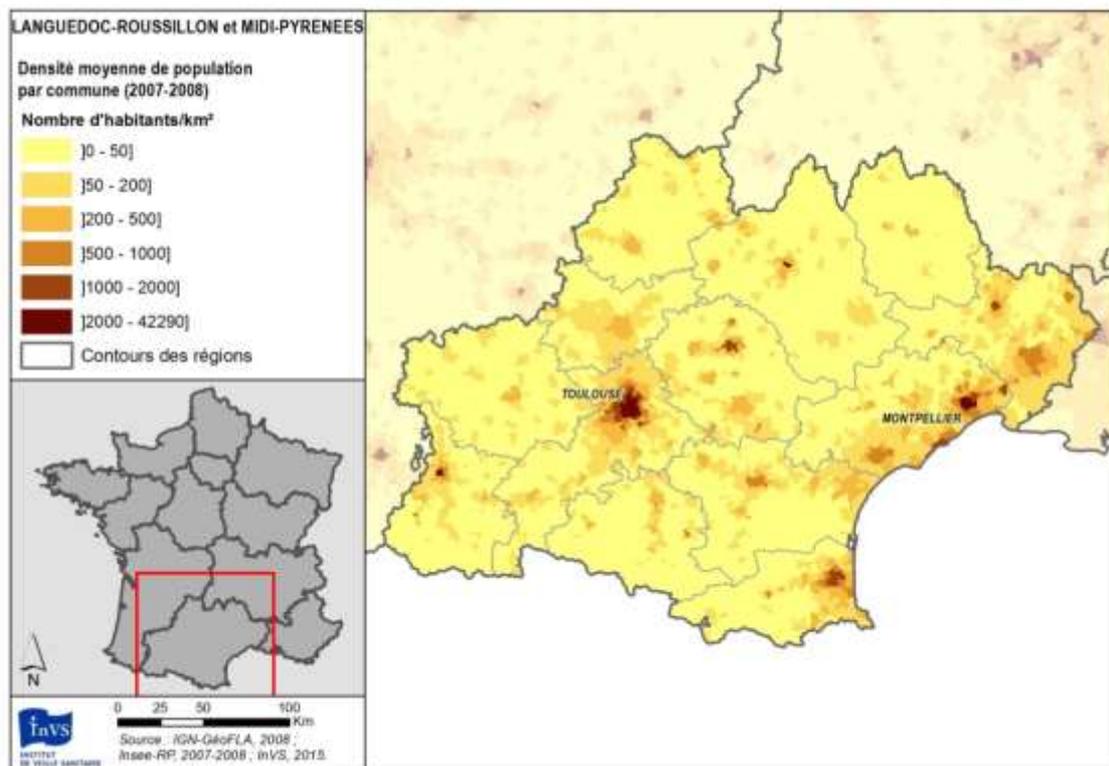
8. Languedoc-Roussillon-Midi-Pyrénées

I Tableau 1 I

Nombre de communes, populations (tous âges et 30 ans et plus), mortalité totale 30 ans et plus (effectif et taux pour 100 000 habitants)

	Nombre de communes	Population totale	Population âgée de 30 ans et plus	Mortalité totale (30 ans et plus)	Mortalité totale pour 100 000 habitants (30 ans et plus)
Languedoc-Roussillon	1 545	2 570 727	1 675 158	24 141	1 441
Aude (11)	438	347 357	235 854	3 679	1 560
Gard (30)	353	692 405	450 959	6 206	1 376
Hérault (34)	343	1 015 398	640 463	8 635	1 348
Lozère (48)	185	76 647	52 600	910	1 729
Pyrénées-Orientales (66)	226	438 921	295 283	4 712	1 596
Midi-Pyrénées	3 019	2 824 059	1 843 562	25 496	1 383
Ariège (09)	332	149 522	103 354	1 665	1 610
Aveyron (12)	304	275 086	192 065	3 150	1 640
Gers (32)	463	184 516	131 289	2 045	1 558
Haute-Garonne (31)	588	1 210 234	728 082	7 993	1 098
Hautes-Pyrénées (65)	474	228 776	159 571	2 629	1 648
Lot (46)	340	171 786	122 594	1 986	1 620
Tarn (81)	323	370 211	251 864	3 775	1 499
Tarn-et-Garonne (82)	195	233 929	154 744	2 254	1 456

I Figure 1 I



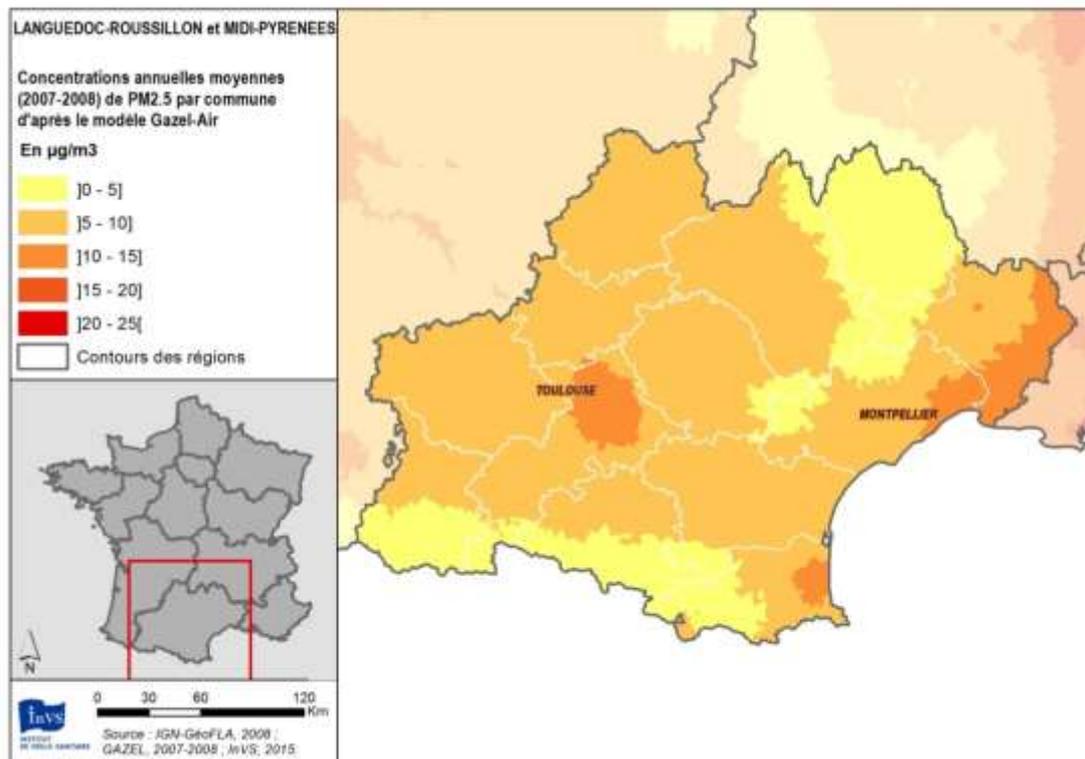
Densité de population (habitants/km²)

I Tableau 2 I

Concentrations annuelles moyennes de PM_{2,5} et population exposée à plus de 10, 15 et 20 µg/m³ en moyenne annuelle au cours de la période 2007-2008

	Concentration annuelle moyenne de PM _{2,5} *			Population exposée à plus de		
	Ensemble de la zone µg/m ³	Commune la moins exposée µg/m ³	Commune la plus exposée µg/m ³	10 µg/m ³ en moyenne annuelle	15 µg/m ³ en moyenne annuelle	20 µg/m ³ en moyenne annuelle
Languedoc-Roussillon	7,29	2,4	14,9	1 226 264	0	0
Aude (11)	7,5	2,9	9,6	0	0	0
Gard (30)	8,9	3,6	14,9	448 867	0	0
Hérault (34)	7,4	3,9	14,1	517 023	0	0
Lozère (48)	4,0	3,1	5,6	0	0	0
Pyrénées-Orientales (66)	6,8	2,4	11,5	260 374	0	0
Midi-Pyrénées	7,36	2,0	14,7	968 504	0	0
Ariège (09)	6,1	2,1	9,3	NA	0	0
Aveyron (12)	6,1	3,8	8,3	NA	0	0
Gers (32)	8,2	7,2	9,7	NA	0	0
Haute-Garonne (31)	8,6	3,0	14,7	963 871	0	0
Hautes-Pyrénées (65)	6,2	2,0	8,8	NA	0	0
Lot (46)	7,0	5,7	8,1	NA	0	0
Tarn (81)	7,6	4,3	9,7	NA	0	0
Tarn-et-Garonne (82)	8,8	6,9	10,1	4 633	0	0

I Figure 2 I



Concentrations annuelles moyennes de PM_{2.5} (moyenne 2007-2008, µg/m³)

I Tableau 3 I

Nombre de décès évitables sous les différents scénarios

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Languedoc-Roussillon	1 463 [524 : 2 281]	929 [331 : 1 459]	231 [82 : 366]	0	0
Aude (11)	179 [63 : 281]	142 [50 : 223]	0	0	0
Gard (30)	458 [165 : 712]	310 [112 : 486]	98 [34 : 154]	0	0
Hérault (34)	532 [191 : 829]	319 [113 : 502]	99 [35 : 157]	0	0
Lozère (48)	0	0	0	0	0
Pyrénées-Orientales (66)	294 [105 : 458]	157 [56 : 248]	34 [12 : 55]		
Midi-Pyrénées	1 403 [503 : 2 189]	959 [340 : 1 509]	250 [89 : 392]	0	0
Ariège (09)	49 [17 : 77]	37 [13 : 58]	0	0	0
Aveyron (12)	66 [23 : 105]	48 [17 : 76]	0	0	0
Gers (32)	96 [34 : 151]	83 [29 : 131]	0	0	0
Haute-Garonne (31)	759 [274 : 1 174]	461 [164 : 723]	250 [89 : 392]	0	0
Hautes-Pyrénées (65)	84 [30 : 132]	60 [21 : 94]	0	0	0
Lot (46)	60 [21 : 95]	47 [17 : 75]	0	0	0
Tarn (81)	159 [56 : 250]	116 [41 : 183]	0	0	0
Tarn-et-Garonne (82)	131 [47 : 206]	107 [38 : 168]	0	0	0

I Tableau 4 I

Gain moyen en espérance de vie à 30 ans (mois)

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Languedoc-Roussillon	4 [2 : 7]	4 [1 : 6]	3 [1 : 4]	0	0
Aude (11)	5 [2 : 8]	5 [2 : 8]	0	0	0
Gard (30)	7 [3 : 12]	7 [3 : 10]	4 [2 : 6]	0	0
Hérault (34)	5 [2 : 7]	4 [2 : 6]	3 [1 : 5]	0	0
Lozère (48)	1 [1 : 1]	1 [1 : 1]	0	0	0
Pyrénées-Orientales (66)	4 [2 : 7]	3 [2 : 5]	2 [1 : 2]	0	0
Midi-Pyrénées	4 [1 : 7]	4 [1 : 6]	2 [1 : 4]	0	0
Ariège (09)	3 [1 : 5]	3 [1 : 4]	0	0	0
Aveyron (12)	3 [1 : 4]	2 [1 : 4]	0	0	0
Gers (32)	6 [2 : 9]	6 [2 : 9]	0	0	0
Haute-Garonne (31)	7 [3 : 10]	6 [2 : 9]	2 [1 : 4]	0	0
Hautes-Pyrénées (65)	3 [1 : 5]	3 [1 : 5]	0	0	0
Lot (46)	4 [2 : 6]	4 [2 : 6]	0	0	0
Tarn (81)	5 [2 : 8]	5 [2 : 7]	0	0	0
Tarn-et-Garonne (82)	7 [3 : 11]	7 [3 : 11]	1 [1 : 1]	0	0

* Les communes équivalentes les moins polluées sont définies à l'échelle de la France, et peuvent donc se trouver dans une autre région.

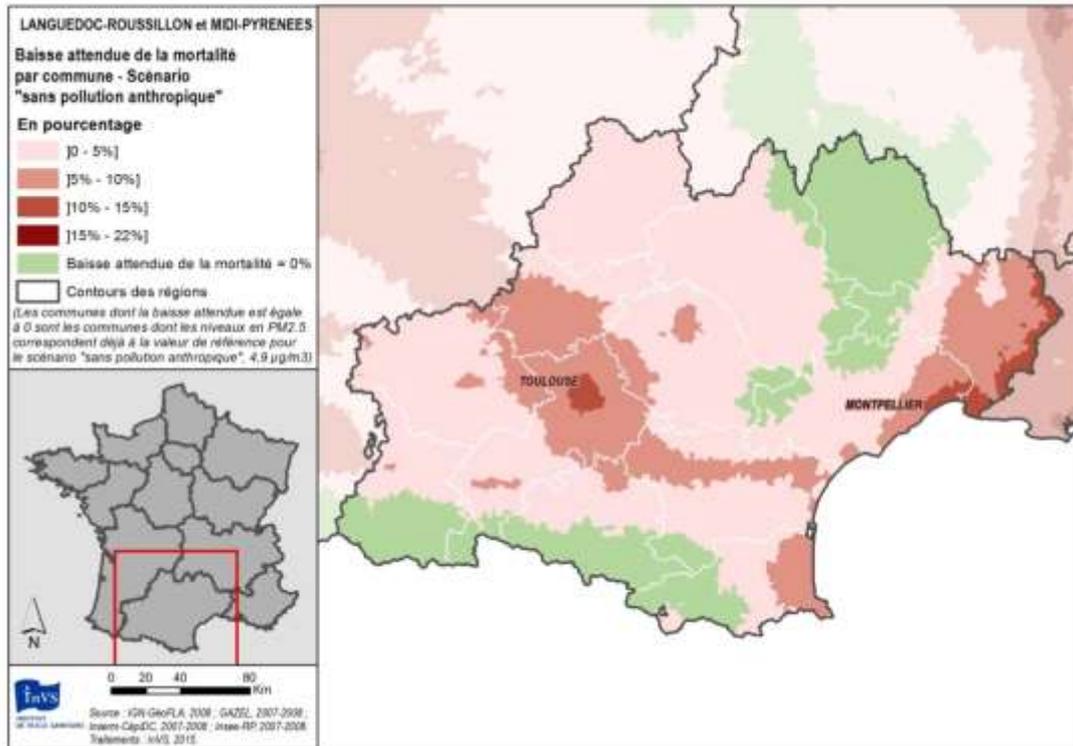
I Tableau 5 I

Nombre total d'années de vie gagnées

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Languedoc-Roussillon	21 402 [7 439 : 34 324]	12 779 [4 450 : 20 453]	4 166 [1 453 : 6 661]	0	0
Aude (11)	1 888 [658 : 3 020]	1501 [523 : 2 401]	0	0	0
Gard (30)	6 233 [2 166 : 9 998]	4 204 [1 463 : 6 735]	1 358 [474 : 2 169]	0	0
Hérault (34)	9 908 [3 442 : 15 903]	5 401 [1 881 : 8 643]	2 377 [828 : 3 803]	0	0
Lozère (48)	0 [0 : 1]	0 [0 : 1]	0	0	0
Pyrénées-Orientales (66)	3 373 [1 174 : 5 403]	1 672 [583 : 2 673]	432 [151 : 690]		
Midi-Pyrénées	25 992 [9 015 : 41 784]	16 071 [5 592 : 25 747]	7 465 [2 596 : 11 963]	0	0
Ariège (09)	531 [185 : 850]	397 [138 : 635]	0	0	0
Aveyron (12)	640 [223 : 1 024]	424 [148 : 677]	0	0	0
Gers (32)	828 [288 : 1 325]	724 [252 : 1 159]	0	0	0
Haute-Garonne (31)	19 298 [6 682 : 31 075]	10 982 [3 818 : 17 609]	7 464 [2 596 : 11 962]	0	0
Hautes-Pyrénées (65)	790 [275 : 1 264]	550 [192 : 879]	0	0	0
Lot (46)	518 [180 : 827]	401 [140 : 640]	0	0	0
Tarn (81)	1 697 [591 : 2 715]	1 250 [436 : 1 999]	0	0	0
Tarn-et-Garonne (82)	1 689 [588 : 2 704]	1 343 [468 : 2 149]	1 [0 : 1]	0	0

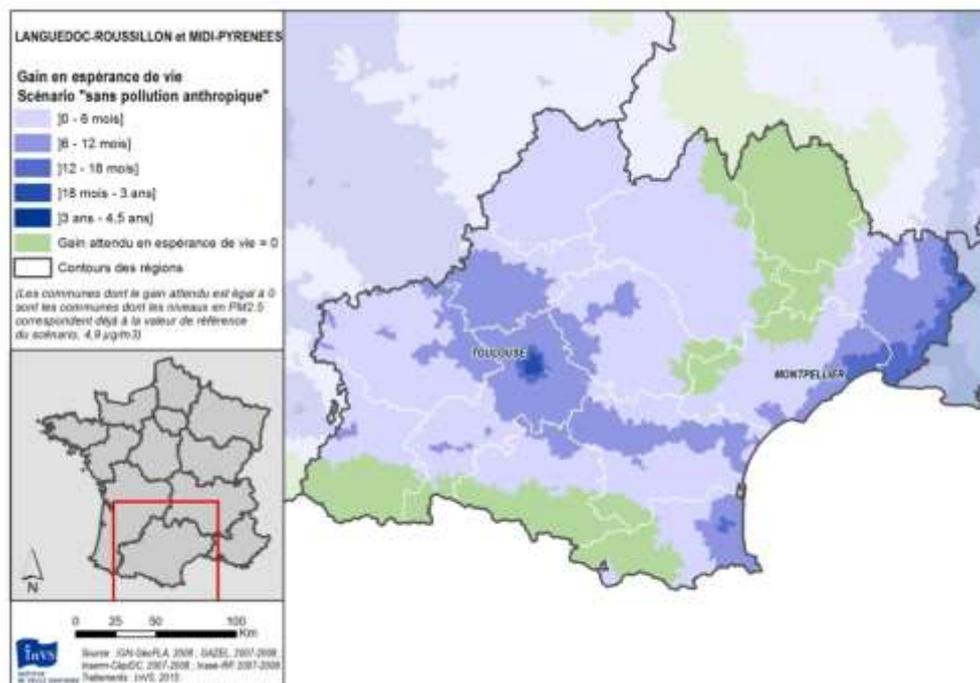
* Les communes équivalentes les moins polluées sont définies à l'échelle de la France, et peuvent donc se trouver dans une autre région.

I Figure 3 I



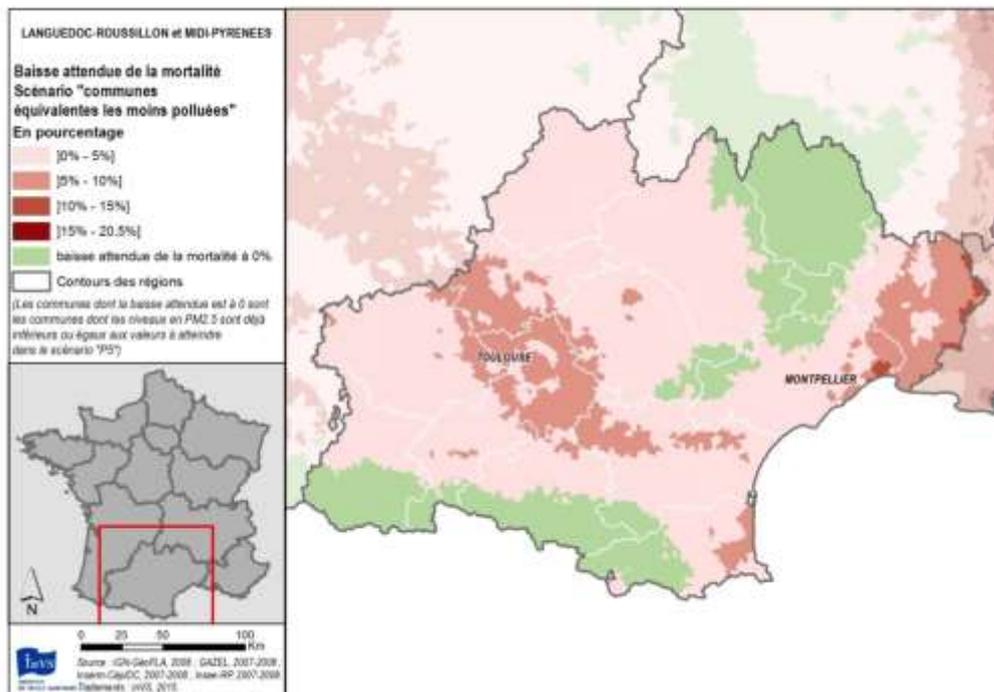
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « sans pollution anthropique » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 4 I



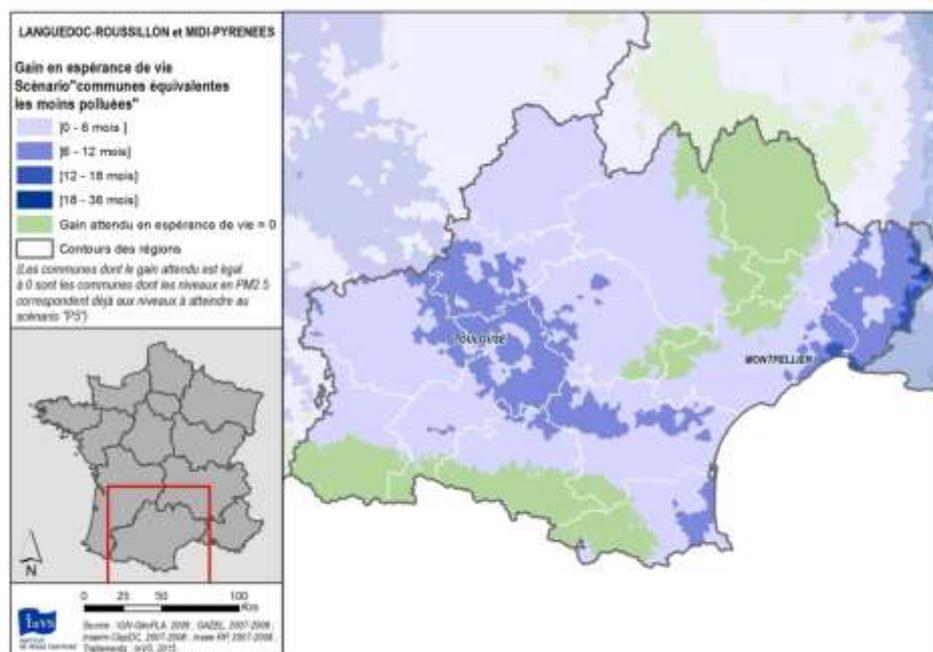
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « sans pollution anthropique »

I Figure 5 I



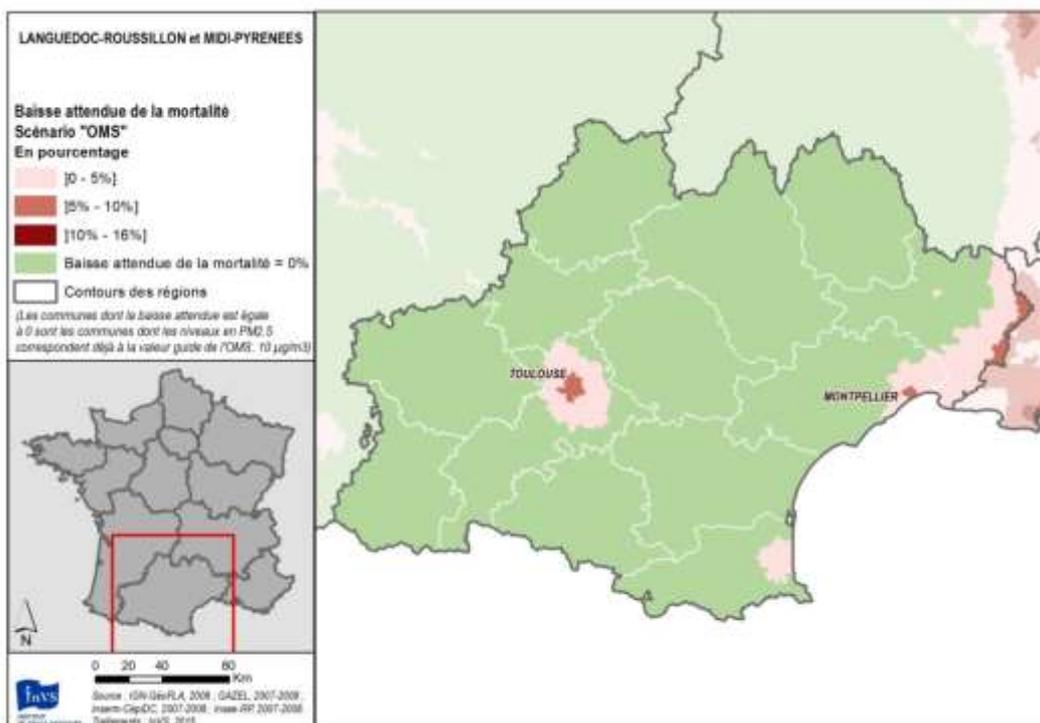
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 6 I



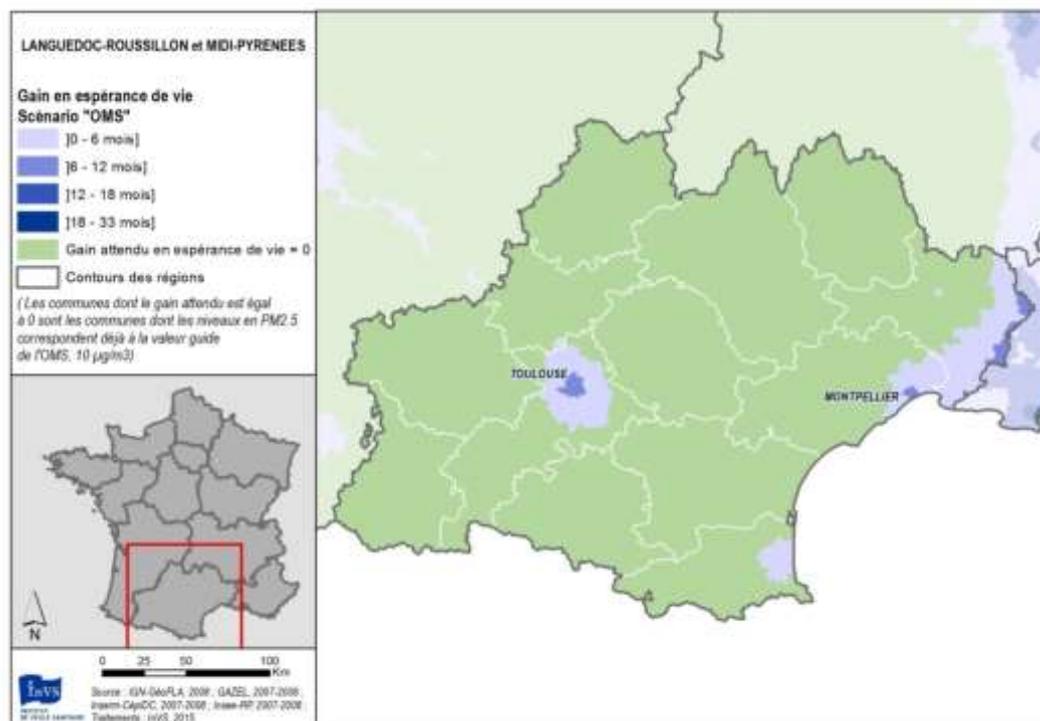
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées »

I Figure 7 I



Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « OMS » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 8 I



Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « OMS »

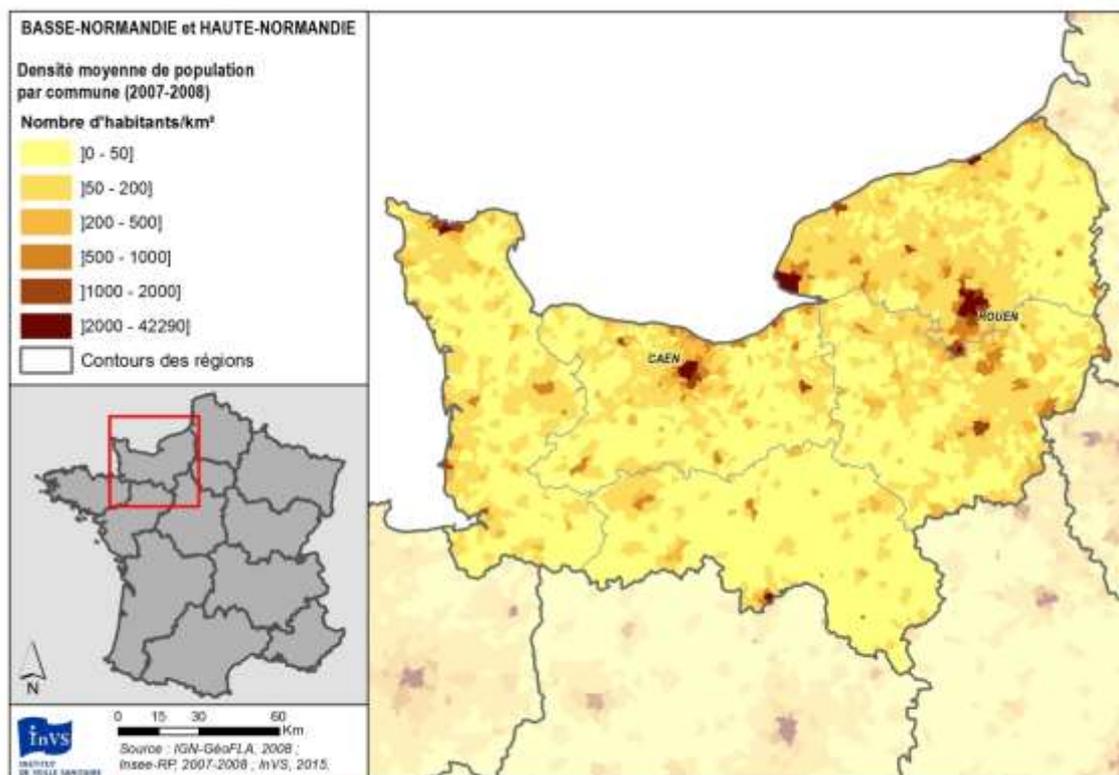
9. Normandie

| Tableau 1 |

Nombre de communes, populations (tous âges et 30 ans et plus), mortalité totale 30 ans et plus (effectif et taux pour 100 000 habitants)

	Nombre de communes	Population totale	Population âgée de 30 ans et plus	Mortalité totale (30 ans et plus)	Mortalité totale pour 100 000 habitants (30 ans et plus)
Basse-Normandie	1 812	1 463 679	938 717	13 730	1 463
Calvados (14)	706	676 102	419 447	5 707	1 360
Manche (50)	601	495 375	325 986	4 969	1 524
Orne (61)	505	292 203	193 284	3 055	1 580
Haute-Normandie	1 420	1 822 045	1 121 647	15 443	1 379
Eure (27)	675	575 173	357 004	4 755	1 332
Seine-Maritime (76)	745	1 246 872	764 643	10 688	1 398

| Figure 1 |



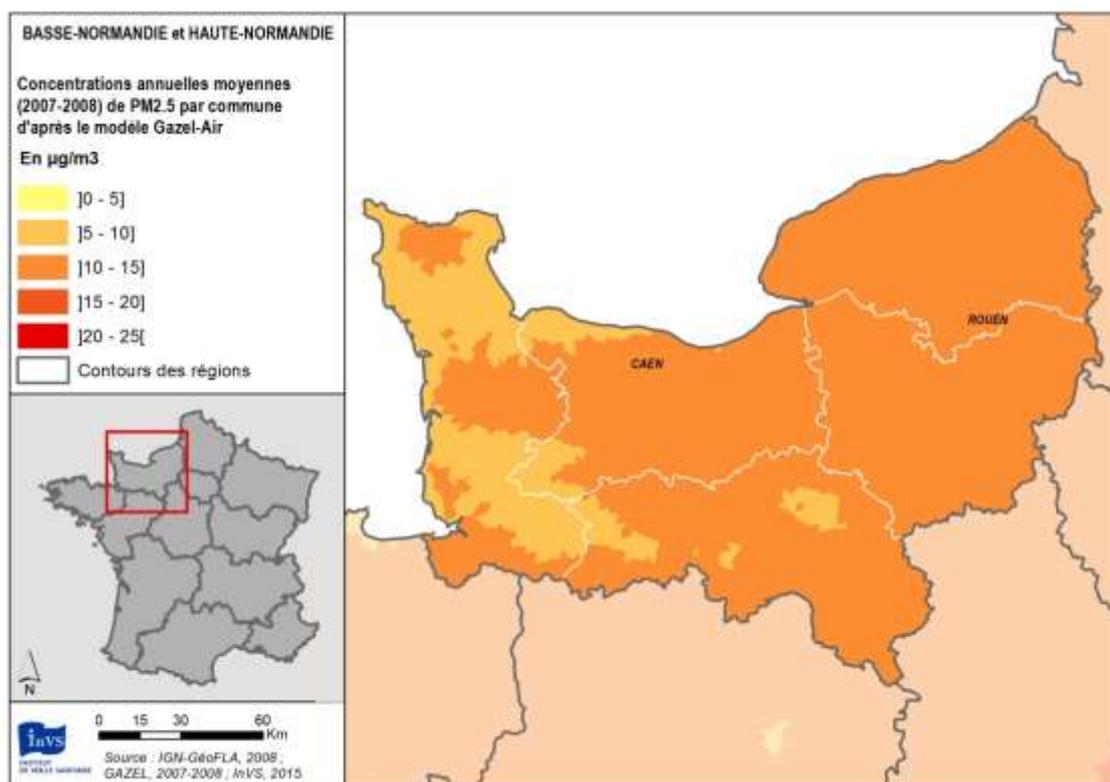
Densité de population (habitants/km²)

I Tableau 2 I

Concentrations annuelles moyennes de PM_{2.5} et population exposée à plus de 10, 15 et 20 µg/m³ en moyenne annuelle au cours de la période 2007-2008

	Concentration annuelle moyenne de PM _{2.5} *			Population exposée à plus		
	Ensemble de la zone µg/m ³	Commune la moins exposée µg/m ³	Commune la plus exposée µg/m ³	de 10 µg/m ³ en moyenne annuelle	de 15 µg/m ³ en moyenne annuelle	de 20 µg/m ³ en moyenne annuelle
Basse-Normandie	10,3	8,0	12,3	1 171 875	0	0
Calvados (14)	10,7	9,0	12,3	634 172	0	0
Manche (50)	9,9	8,0	10,8	266 895	0	0
Orne (61)	10,4	9,6	11,3	270 808	0	0
Haute-Normandie	11,9	10,3	13,9	1 822 044	0	0
Eure (27)	11,9	10,4	13,0	575 173	0	0
Seine-Maritime (76)	11,9	10,3	13,9	1 246 872	0	0

I Figure 2 I



Concentrations annuelles moyennes de PM_{2.5} (moyenne 2007-2008, µg/m³)

I Tableau 3 I

Nombre de décès évitables sous les différents scénarios

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Basse-Normandie	1036 [371 : 1 615]	853 [304 : 1 335]	114 [40 : 181]	0	0
Calvados (14)	468 [168 ; 728]	349 [125 ; 546]	83 [29 ; 131]	0	0
Manche (50)	339 [121 ; 530]	297 [106 ; 466]	11 [4 ; 18]	0	0
Orne (61)	229 [82 ; 357]	206 [74 ; 323]	20 [7 ; 33]	0	0
Haute-Normandie	1535 [554 : 2375]	1122 [402 : 1750]	507 [179 : 800]	0	0
Eure (27)	454 [164 ; 704]	406 [146 ; 632]	136 [48 ; 215]	0	0
Seine-Maritime (76)	1 081 [391 ; 1 672]	716 [256 ; 1 119]	371 [131 ; 585]	0	0

I Tableau 4 I

Gain moyen en espérance de vie à 30 ans (mois)

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Basse-Normandie	10 [4 : 16]	10 [4 : 15]	2 [1 : 2]	0	0
Calvados (14)	11 [4 : 17]	10 [4 : 16]	2 [1 : 3]	0	0
Manche (50)	9 [4 : 14]	9 [3 : 14]	1 [1 : 1]	0	0
Orne (61)	10 [4 : 16]	10 [4 : 16]	1 [1 : 2]	0	0
Haute-Normandie	13 [5 : 20]	12 [5 : 19]	4 [2 : 6]	0	0
Eure (27)	13 [5 : 20]	13 [5 : 20]	4 [2 : 6]	0	0
Seine-Maritime (76)	13 [5 : 20]	12 [4 : 19]	4 [2 : 6]	0	0

* Les communes équivalentes les moins polluées sont définies à l'échelle de la France, et peuvent donc se trouver dans une autre région.

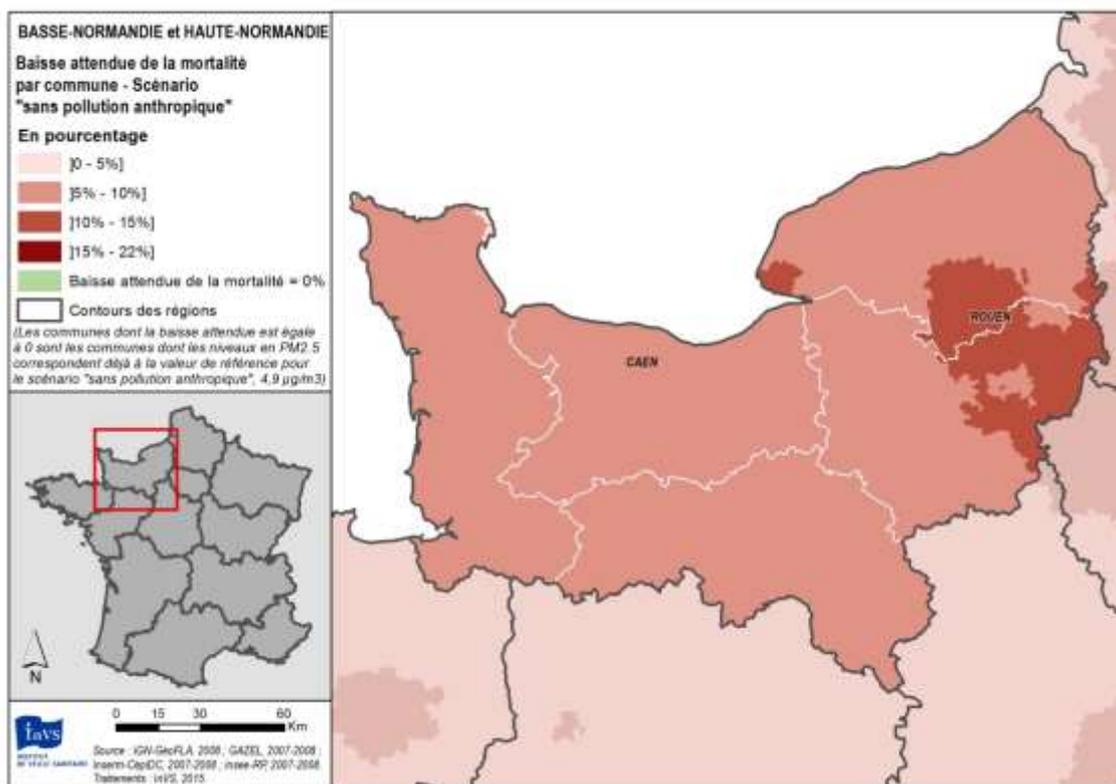
I Tableau 5 I

Nombre total d'années de vie gagnées

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Basse-Normandie	14 223 [4 945 : 22 802]	11 109 [3 867 : 17 791]	1 874 [653 : 2 995]	0	0
Calvados (14)	7 784 [2 703 : 12 492]	5 413 [1 883 : 8 673]	1 498 [522 : 2 395]	0	0
Manche (50)	3 921 [1 365 : 6 278]	3 431 [1 195 : 5 490]	143 [50 : 228]	0	0
Orne (61)	2 518 [877 : 4 033]	2 266 [789 : 3 628]	233 [81 : 372]	0	0
Haute-Normandie	24 729 [8 599 : 39 650]	17 747 [6 178 : 28 420]	8 111 [2 828 : 12 965]	0	0
Eure (27)	7 387 [2 570 : 11 840]	6 598 [2 296 : 10 572]	2 190 [764 : 3 500]	0	0
Seine-Maritime (76)	17 342 [6 030 : 27 810]	11 149 [3 882 : 17 848]	5 921 [2 064 : 9 465]	0	0

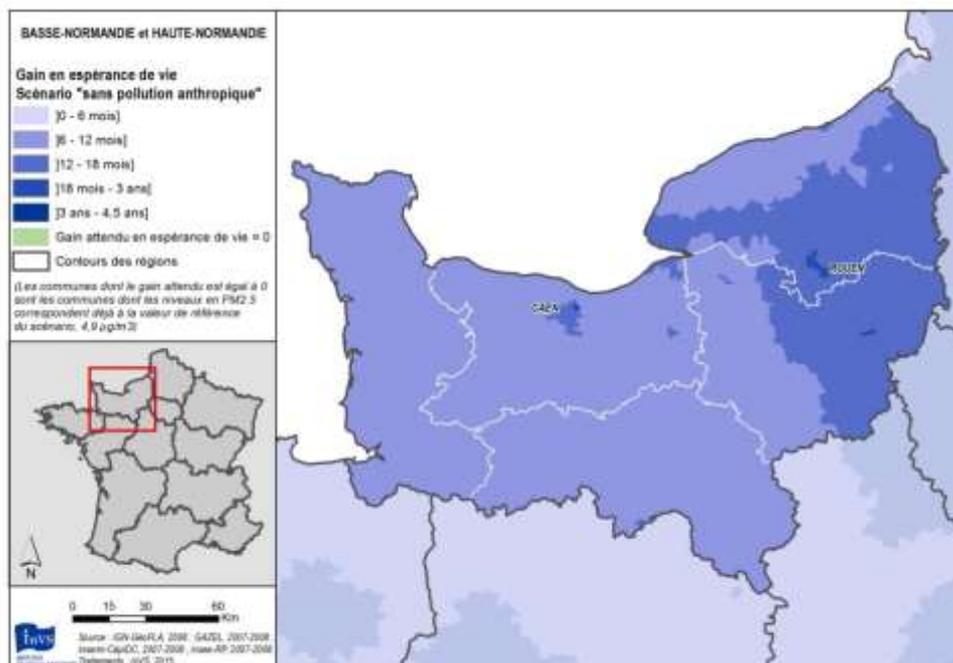
* Les communes équivalentes les moins polluées sont définies à l'échelle de la France, et peuvent donc se trouver dans une autre région.

I Figure 3 I



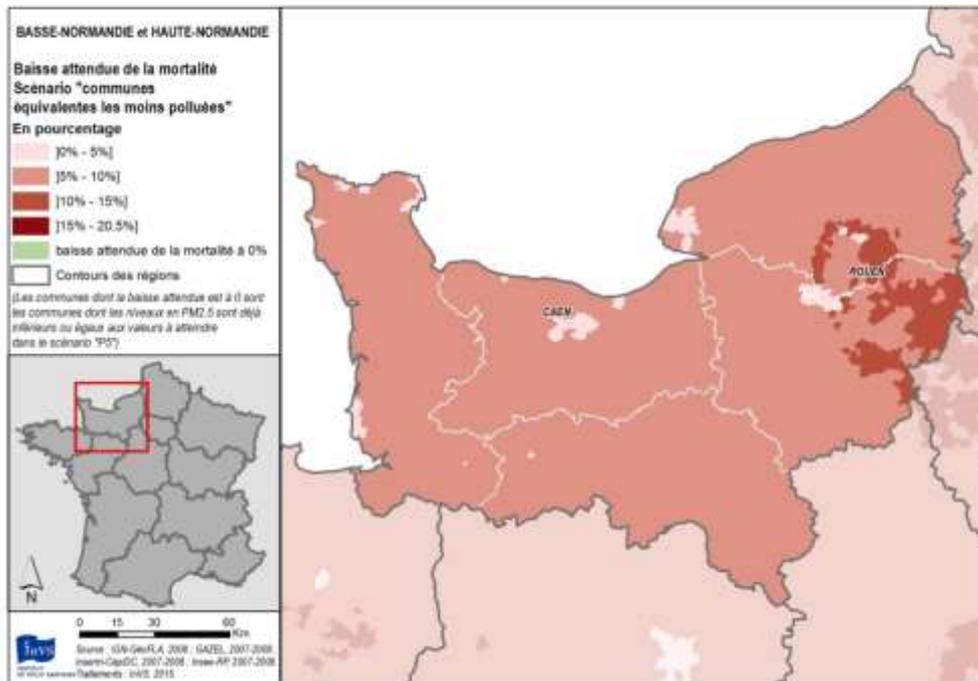
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « sans pollution anthropique » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 4 I



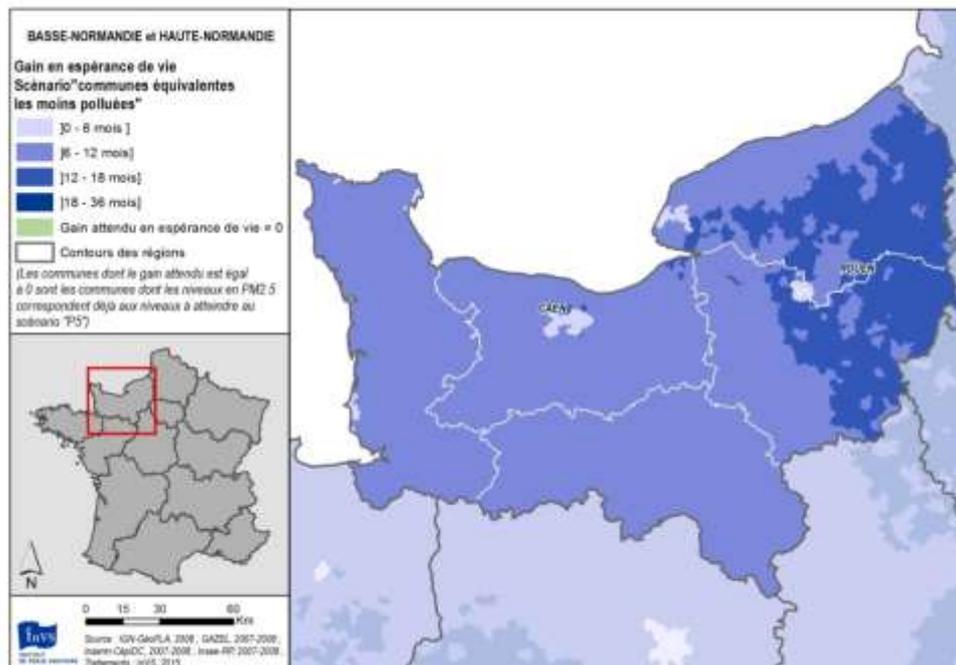
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « sans pollution anthropique »

I Figure 5 I



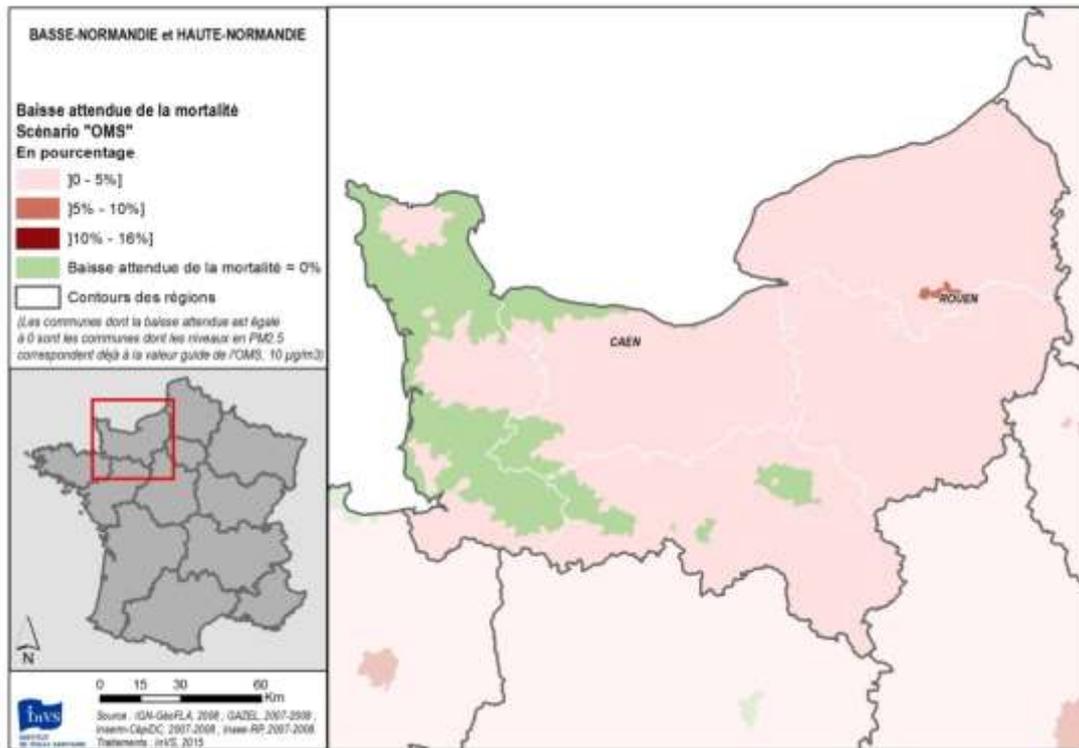
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 6 I



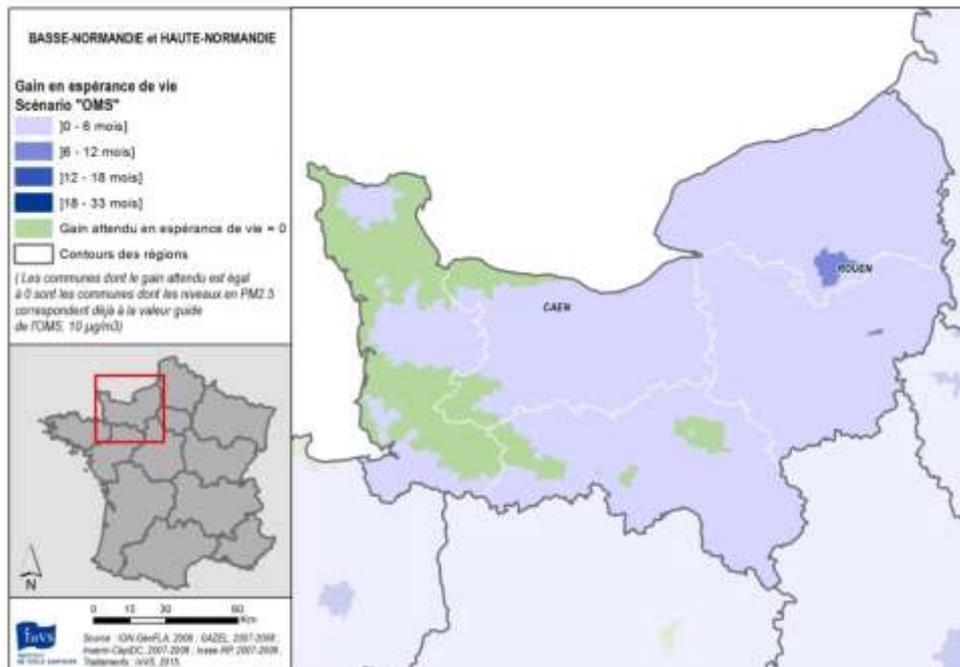
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées »

I Figure 7 I



Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « OMS » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 8 I



Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « OMS »

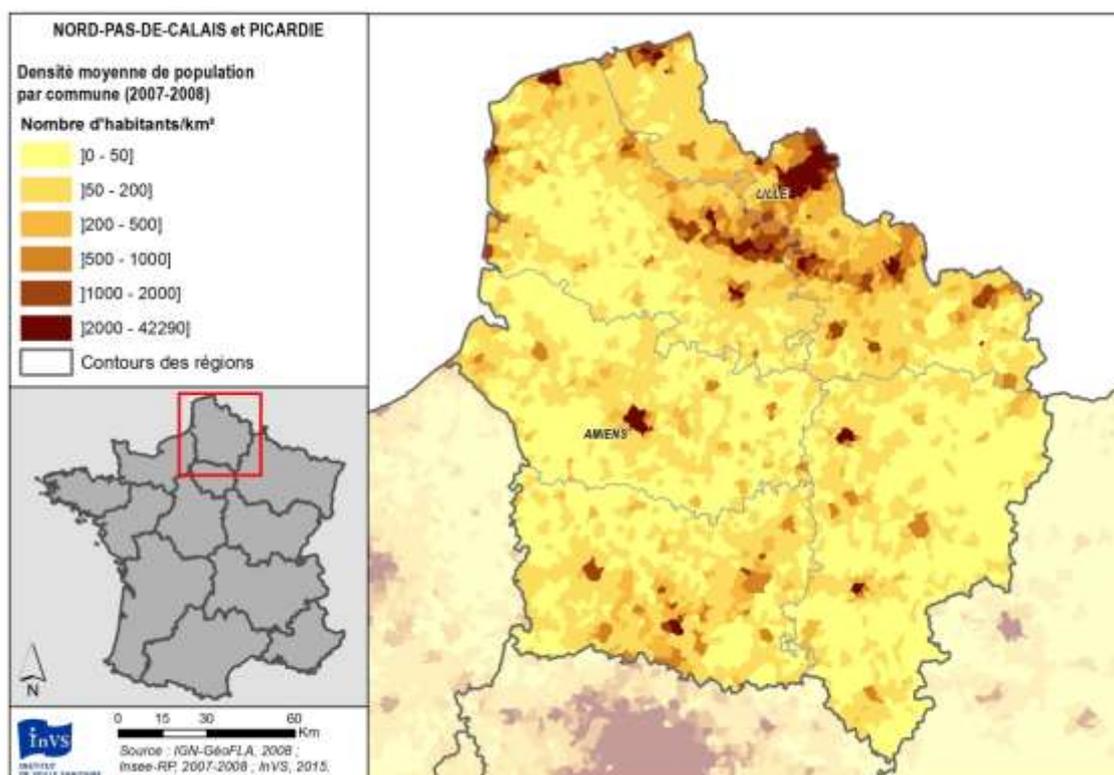
10. Nord-Pas-de-Calais-Picardie

I Tableau 1 I

Nombre de communes, populations (tous âges et 30 ans et plus), mortalité totale 30 ans et plus (effectif et taux pour 100 000 habitants)

	Nombre de communes	Population totale	Population âgée de 30 ans et plus	Mortalité totale (30 ans et plus)	Mortalité totale pour 100 000 habitants (30 ans et plus)
Nord-Pas-de-Calais	1 546	4 022 872	2 379 258	35 190	1 479
Nord (59)	652	2 564 568	1 495 188	21 378	1 430
Pas-de-Calais (62)	894	1 458 304	884 070	13 812	1 562
Picardie	2 291	1 904 520	1 167 804	16 481	1 411
Aisne (02)	816	538 969	336 721	5 288	1 570
Oise (60)	693	798 518	481 424	5 946	1 235
Somme (80)	782	567 034	349 660	5 247	1 501

I Figure 1 I



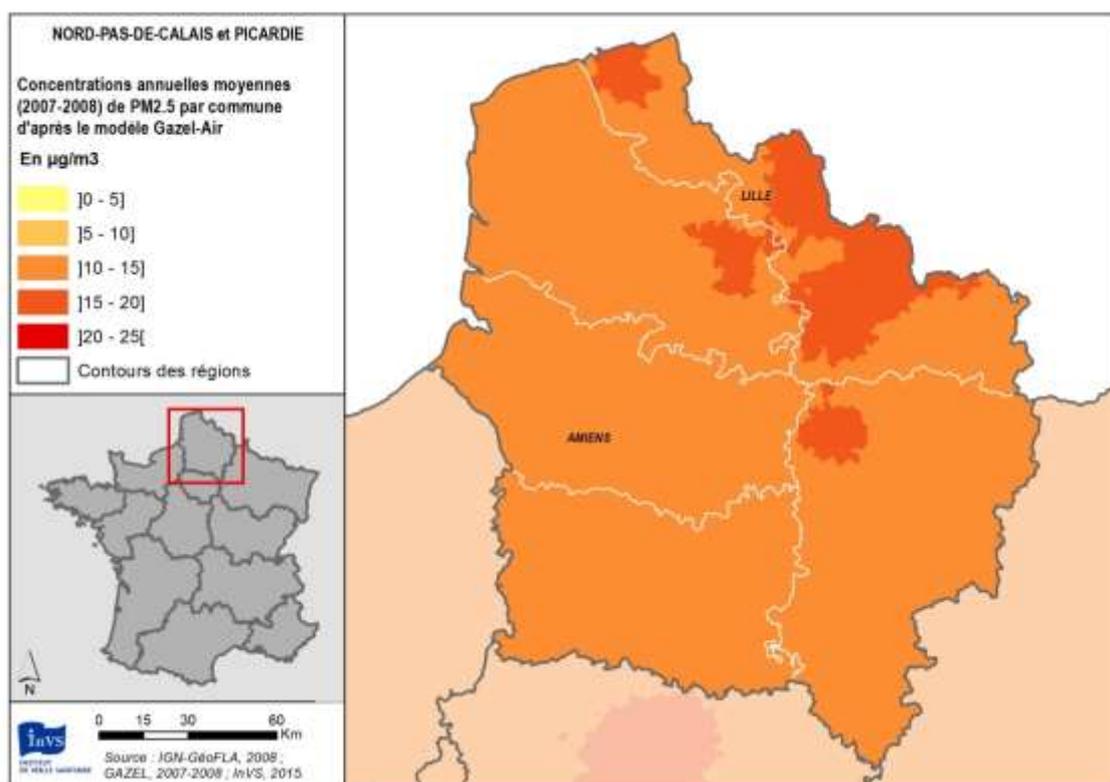
Densité de population (habitants/km²)

I Tableau 2 I

Concentrations annuelles moyennes de PM_{2.5} et population exposée à plus de 10, 15 et 20 µg/m³ en moyenne annuelle au cours de la période 2007-2008

	Concentration annuelle moyenne de PM _{2.5}					Population exposée à plus		
	Ensemble de la zone µg/m ³	Commune la moins exposée µg/m ³	Commune la plus exposée µg/m ³			de 10 µg/m ³ en moyenne annuelle	de 15 µg/m ³ en moyenne annuelle	de 20 µg/m ³ en moyenne annuelle
Nord-Pas-de-Calais	14,1	11,2	17,1			4 022 872	2 147 848	0
Nord (59)	14,9	11,4	17,1			2 564 568	1 783 369	0
Pas-de-Calais (62)	13,6	11,2	15,5			1 458 304	364 479	0
Picardie	13,4	10,6	15,6			1 904 520	86 809	0
Aisne (02)	13,5	12,0	15,6			538 969	86 809	0
Oise (60)	13,3	12,2	14,3			798 518	0	0
Somme (80)	13,5	10,6	14,8			567 034	0	0

I Figure 2 I



Concentrations annuelles moyennes de PM_{2.5} (moyenne 2007-2008, µg/m³)

I Tableau 3 I

Nombre de décès évitables sous les différents scénarios

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Nord-Pas-de-Calais	4 649 [1 698 : 7 127]	3 306 [1 192 : 5 126]	2 332 [833 : 3 645]	192 [67 : 304]	0
Nord (59)	2 914 [1 067 : 4 459]	2 057 [743 : 3 185]	1 550 [555 : 2 420]	182 [64 : 289]	0
Pas-de-Calais (62)	1 735 [631 : 2 668]	1 249 [449 : 1 941]	781 [278 : 1 225]	10 [3 : 16]	0
Picardie	1 882 [683 : 2 900]	1 644 [594 : 2 543]	803 [285 : 1 263]	5 [2 : 8]	0
Aisne (02)	617 [224 : 951]	565 [205 : 873]	272 [97 : 428]	5 [2 : 8]	0
Oise (60)	671 [243 : 1 034]	577 [208 : 893]	281 [100 : 442]	0	0
Somme (80)	594 [216 : 915]	502 [181 : 777]	250 [89 : 393]	0	0

I Tableau 4 I

Gain moyen en espérance de vie à 30 ans (mois)

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Nord-Pas-de-Calais	17 [6 : 28]	15 [6 : 24]	8 [3 : 13]	1 [1 : 2]	0
Nord (59)	19 [7 : 30]	16 [6 : 25]	9 [4 : 15]	2 [1 : 2]	0
Pas-de-Calais (62)	17 [6 : 26]	15 [6 : 24]	7 [3 : 11]	1 [1 : 1]	0
Picardie	16 [6 : 25]	15 [6 : 24]	7 [3 : 10]	1 [1 : 1]	0
Aisne (02)	16 [6 : 25]	16 [6 : 25]	7 [3 : 10]	1 [1 : 1]	0
Oise (60)	15 [6 : 24]	15 [5 : 23]	6 [3 : 10]	0	0
Somme (80)	16 [6 : 25]	15 [6 : 25]	7 [3 : 10]	0	0

* Les communes équivalentes les moins polluées sont définies à l'échelle de la France, et peuvent donc se trouver dans une autre région.

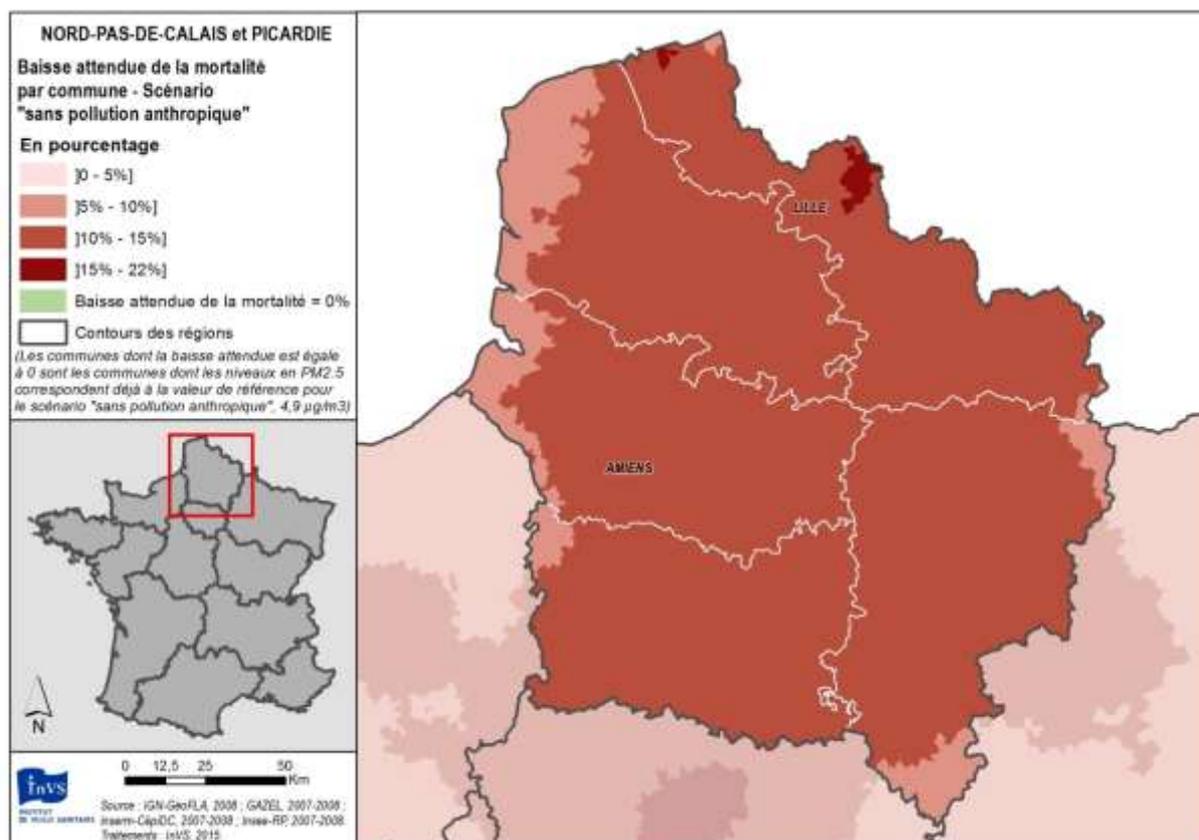
I Tableau 5 I

Nombre total d'années de vie gagnées

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Nord-Pas-de-Calais	81 398	56 125	40 048	3 820	
	[28 244 : 130 834]	[19 518 : 89 975]	[13 940 : 64 132]	[1 332 : 6 102]	0
	55 745	37 652	28 937	3 678	
Nord (59)	[19 333 : 89 654]	[13 091 : 60 373]	[10 069 : 46 353]	[1 283 : 5 876]	0
Pas-de-Calais (62)	25 654	18 474	11 112	142	0
	[8 912 : 41 180]	[6 427 : 29 602]	[3 871 : 17 779]	[49 : 226]	
Picardie	30 202	25 668	12 506	60	0
	[10 495 : 48 467]	[8 925 : 41 158]	[4 358 : 20 001]	[21 : 96]	
	8 073	7 395	3 432	60	
Aisne (02)	[2 809 : 12 941]	[2 574 : 11 849]	[1 197 : 5 488]	[21 : 96]	0
	13 100	11 030	5 318		
Oise (60)	[4 549 : 21 036]	[3 833 : 17 695]	[1 853 : 8 508]	0	0
	9 029	7 243	3 755		
Somme (80)	[3 137 : 14 491]	[2 519 : 11 614]	[1 309 : 6 006]	0	0

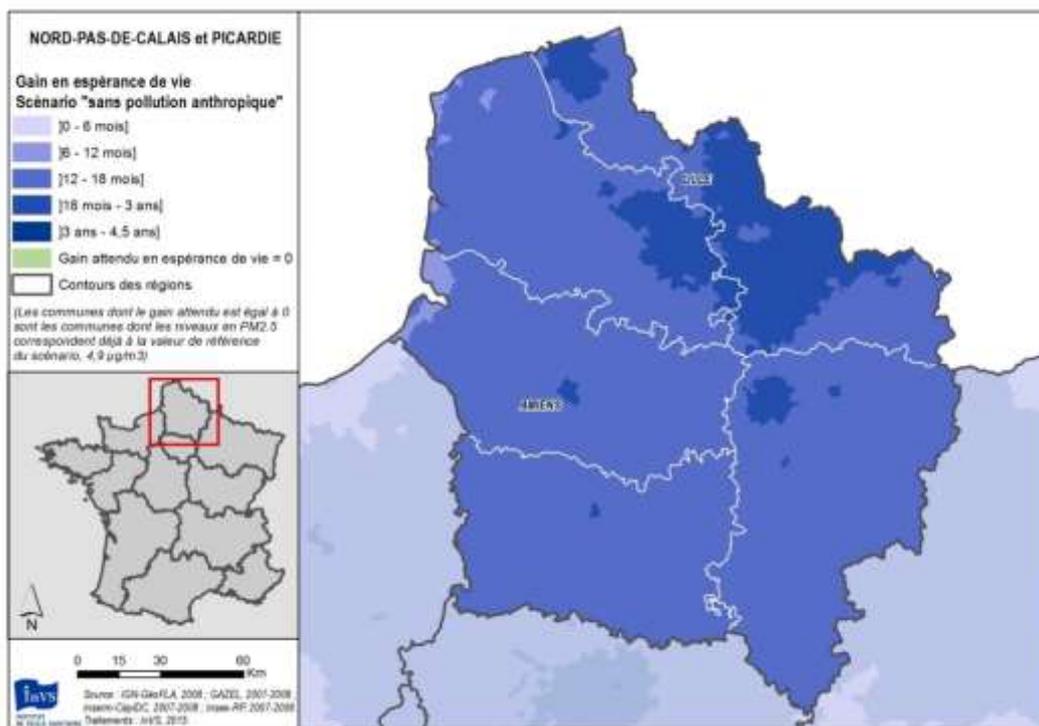
* Les communes équivalentes les moins polluées sont définies à l'échelle de la France, et peuvent donc se trouver dans une autre région.

I Figure 3 I



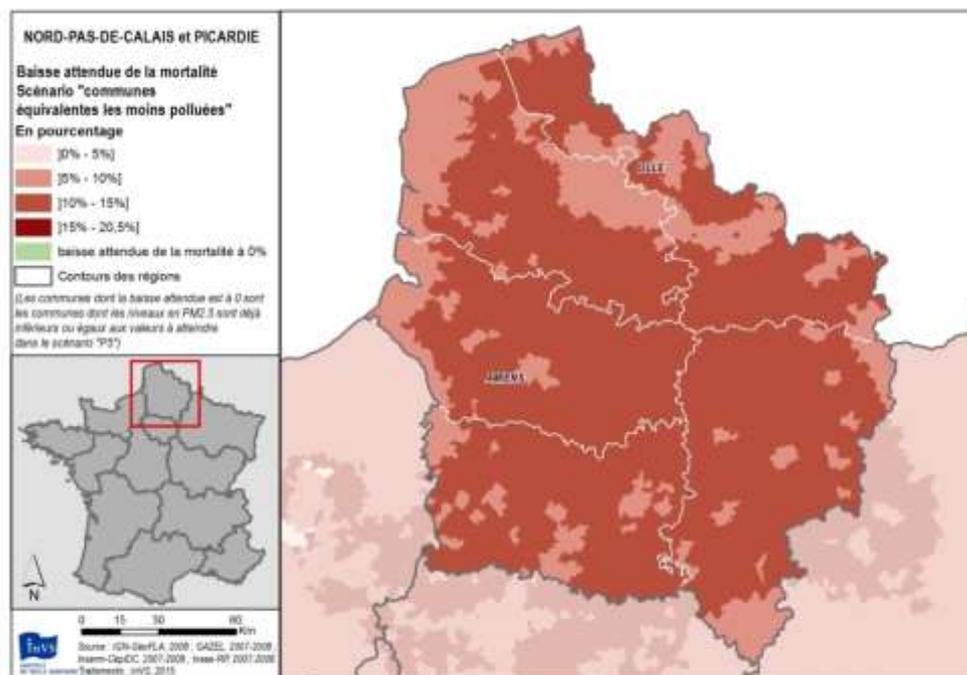
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « sans pollution anthropique » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 4 I



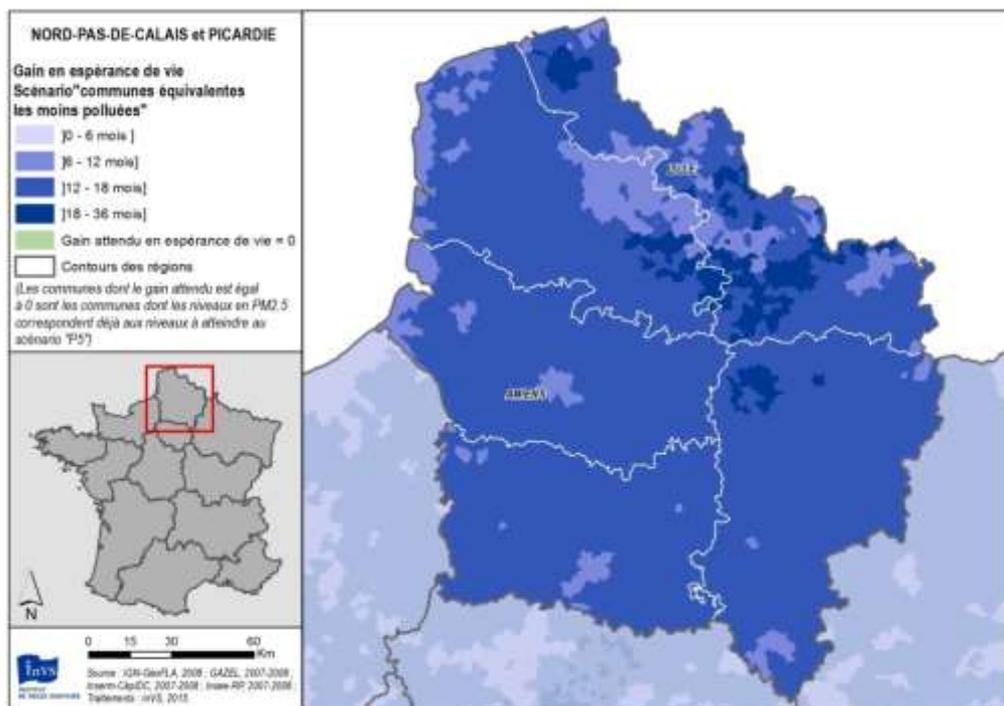
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « sans pollution anthropique »

I Figure 5 I



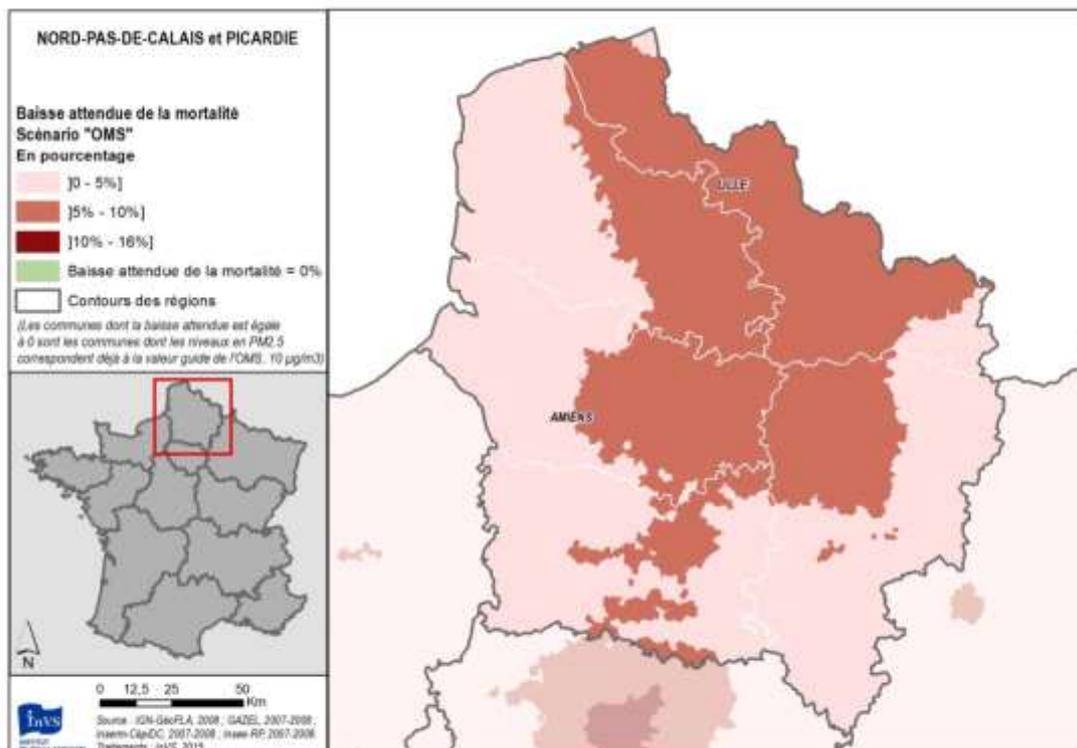
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 6 I



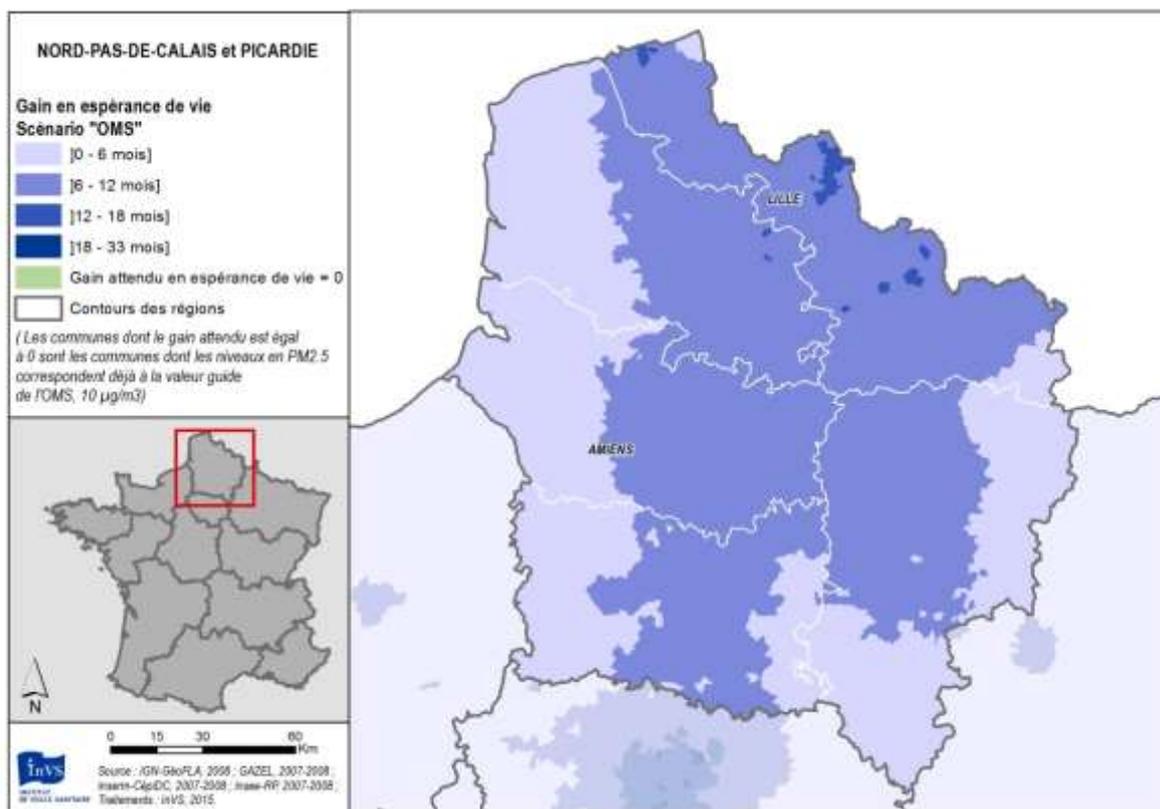
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées »

I Figure 7 I



Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « OMS » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 8 I



Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « OMS »

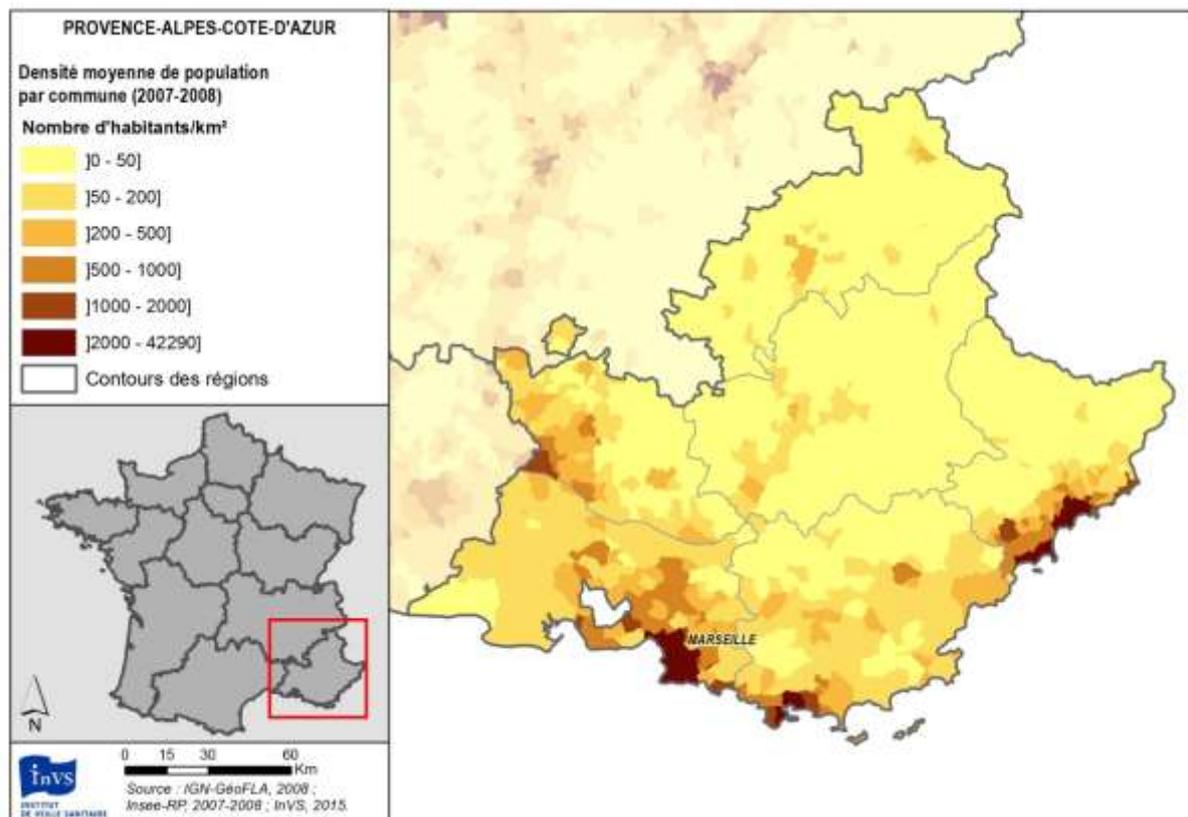
11. Provence-Alpes-Côte-d'Azur

I Tableau 1 I

Nombre de communes, populations (tous âges et 30 ans et plus), mortalité totale 30 ans et plus (effectif et taux pour 100 000 habitants)

	Nombre de communes	Population totale	Population âgée de 30 ans et plus	Mortalité totale (30 ans et plus)	Mortalité totale pour 100 000 habitants (30 ans et plus)
Provence-Alpes-Côte-d'Azur	963	4 873 171	3 173 841	44 369	1 398
Alpes-de-Haute-Provence (04)	200	157 136	106 982	1 557	1 455
Alpes-Maritimes (06)	163	1 083 593	727 506	10 810	1 486
Bouches-du-Rhône (13)	119	1 962 464	1 230 526	16 044	1 304
Hautes-Alpes (05)	177	133 246	89 544	1 219	1 361
Var (83)	153	998 427	674 221	9 996	1 483
Vaucluse (84)	151	538 306	345 064	4 744	1 375

I Figure 1 I



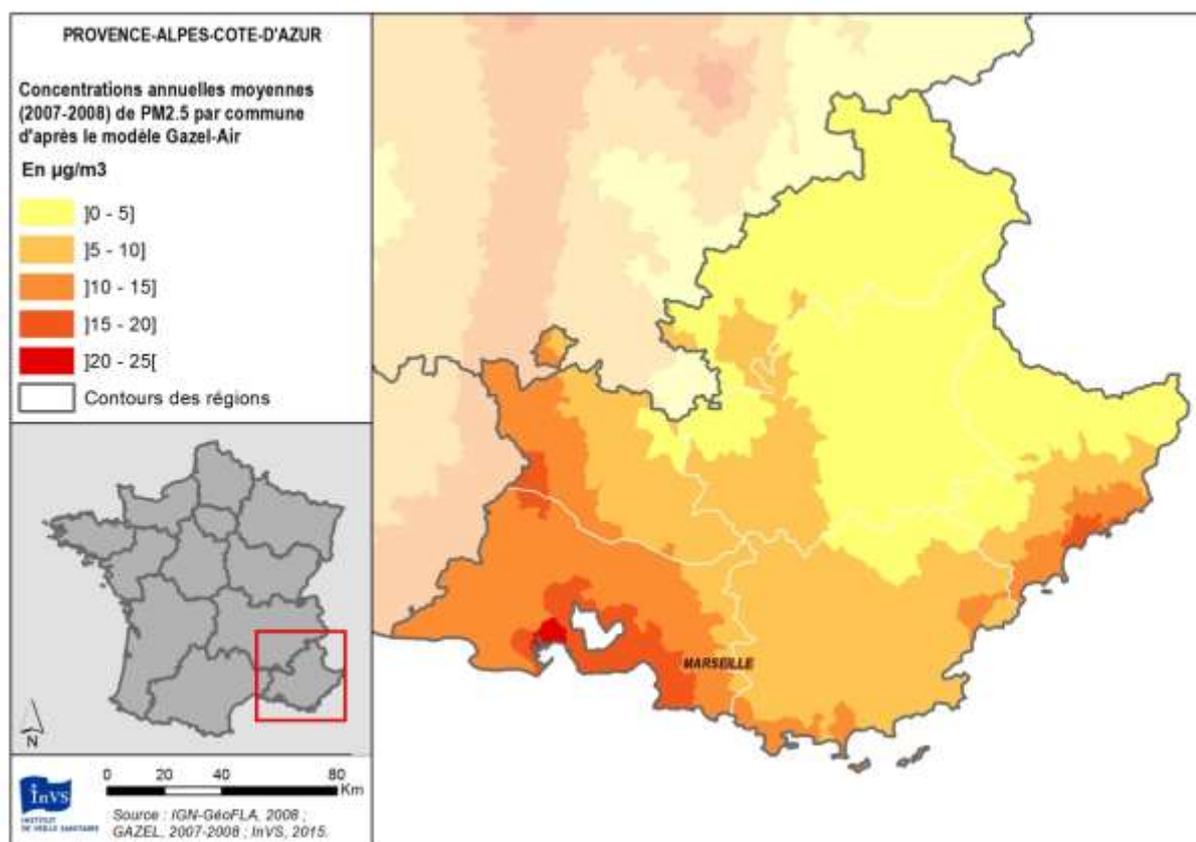
Densité de population (habitants/km²)

I Tableau 2 I

Concentrations annuelles moyennes de PM_{2.5} et population exposée à plus de 10, 15 et 20 µg/m³ en moyenne annuelle au cours de la période 2007-2008

	Concentration annuelle moyenne de PM _{2.5}			Population exposée à plus		
	Ensemble de la zone µg/m ³	Commune la moins exposée µg/m ³	Commune la plus exposée µg/m ³	de 10 µg/m ³ en moyenne annuelle	de 15 µg/m ³ en moyenne annuelle	de 20 µg/m ³ en moyenne annuelle
Provence-Alpes-Côte-d'Azur	7.27	1,6	21,4	3 735 946	1 861 993	0
Alpes-de-Haute-Provence (04)	4,4	1,9	7,4	0	0	0
Alpes-Maritimes (06)	7,8	2,1	16,6	932 425	458 525	0
Bouches-du-Rhône (13)	13,5	7,4	21,4	1 917 133	1 259 770	0
Hautes-Alpes (05)	3,9	1,6	5,9	0	0	0
Var (83)	7,3	3,9	12,3	482 595	0	0
Vaucluse (84)	9,5	4,5	16,4	403 793	143 698	0

I Figure 2 I



Concentrations annuelles moyennes de PM_{2.5} (moyenne 2007-2008, µg/m³)

I Tableau 3 I

Nombre de décès évitables sous les différents scénarios

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Provence-Alpes-Côte-d'Azur	4584 [1671 : 7038]	2739 [984 : 4260]	2051 [735 : 3199]	355 [126 : 561]	2 [1 : 3]
Alpes-de-Haute-Provence (04)	17 [6 : 27]	6 [2 : 9]	0	0	0
Alpes-Maritimes (06)	2 [1 : 3]	1 [1 : 2]	0	0	0
Bouches-du-Rhône (13)	1273 [464 : 1953]	744 [267 : 1159]	612 [218 : 956]	67 [24 : 106]	0
Hautes-Alpes (05)	2214 [811 : 3380]	1464 [528 : 2268]	1196 [430 : 1861]	271 [96 : 428]	2 [1 : 3]
Var (83)	624 [224 : 974]	252 [88 : 398]	70 [25 : 112]	0	0
Vaucluse (84)	454 [165 : 701]	272 [98 : 424]	173 [62 : 270]	17 [6 : 27]	0

I Tableau 4 I

Gain moyen en espérance de vie à 30 ans (mois)

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Provence-Alpes-Côte-d'Azur	5 [2 : 8]	3 [1 : 5]	6 [2 : 9]	2 [1 : 4]	3 [1 : 4]
Alpes-de-Haute-Provence (04)	1 [1 : 1]	1 [1 : 1]	0	0	0
Alpes-Maritimes (06)	6 [2 : 9]	4 [2 : 6]	6 [2 : 9]	2 [1 : 2]	0
Bouches-du-Rhône (13)	15 [6 : 24]	10 [4 : 17]	7 [3 : 11]	3 [2 : 5]	3 [1 : 5]
Hautes-Alpes (05)	1 [1 : 1]	1 [1 : 1]	0	0	0
Var (83)	5 [2 : 7]	3 [1 : 4]	2 [1 : 3]	0	0
Vaucluse (84)	8 [3 : 13]	6 [2 : 9]	5 [2 : 8]	2 [1 : 3]	0

* Les communes équivalentes les moins polluées sont définies à l'échelle de la France, et peuvent donc se trouver dans une autre région.

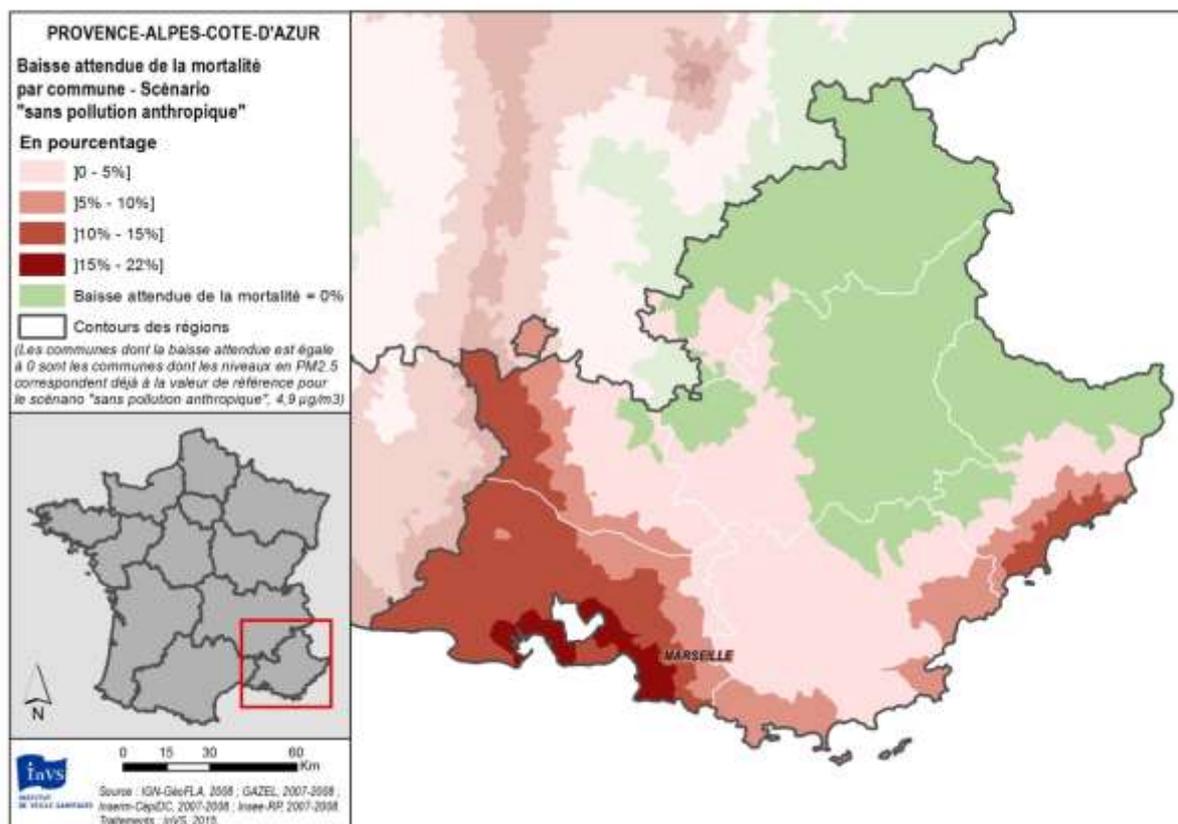
I Tableau 5 I

Nombre total d'années de vie gagnées

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Provence-Alpes-Côte-d'Azur	67 915 [23 520 : 109 410]	40 448 [14 050 : 64 934]	31 080 [10 801 : 49 854]	5 725 [1 995 : 9 153]	41 [15 : 66]
Alpes-de-Haute-Provence (04)	167 [59 : 267]	58 [21 : 93]	0	0	0
Alpes-Maritimes (06)	16 585 [5 748 : 26 692]	9 510 [3 307 : 15 252]	7 755 [2 698 : 12 425]	829 [289 : 1 323]	0
Bouches-du-Rhône (13)	37 695 [13 030 : 60 838]	24 223 [8 404 : 38 930]	19 919 [6 917 : 31 977]	4 607 [1 605 : 7 369]	41 [15 : 66]
Hautes-Alpes (05)	10 [4 : 15]	6 [2 : 10]	0	0	0
Var (83)	6 776 [2 358 : 10 852]	2 668 [931 : 4 265]	733 [256 : 1 170]	0	0
Vaucluse (84)	6 682 [2 318 : 10 743]	3 983 [1 385 : 6 384]	2 673 [930 : 4 282]	289 [101 : 461]	0

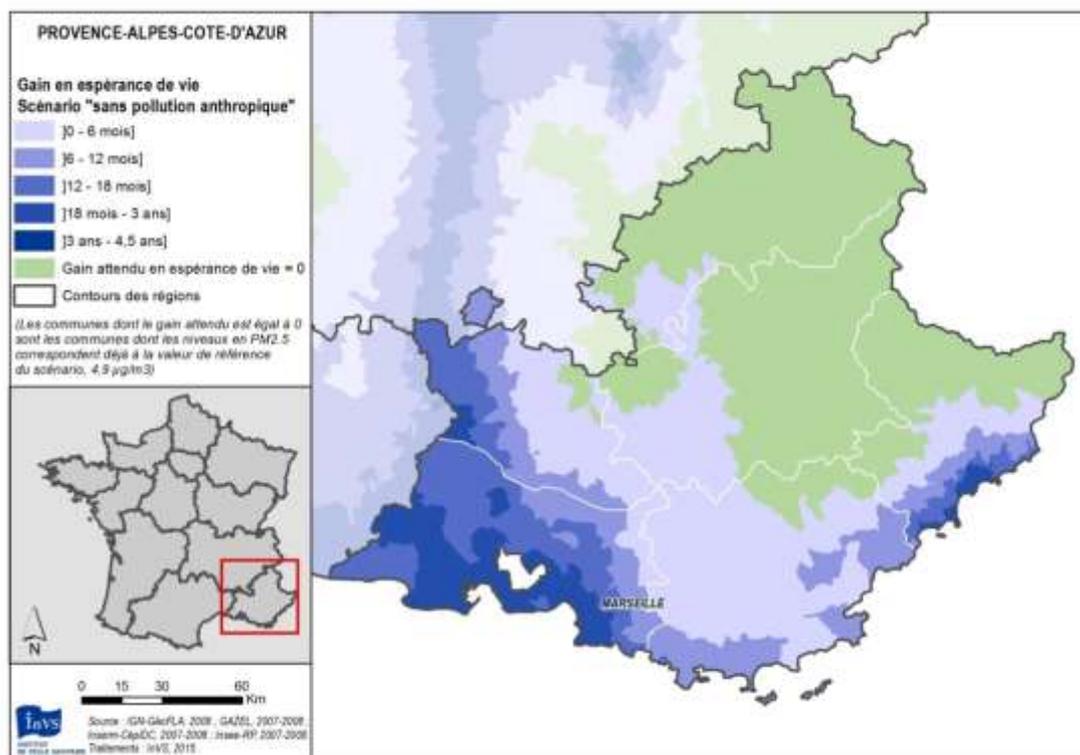
* Les communes équivalentes les moins polluées sont définies à l'échelle de la France, et peuvent donc se trouver dans une autre région.

I Figure 3 I



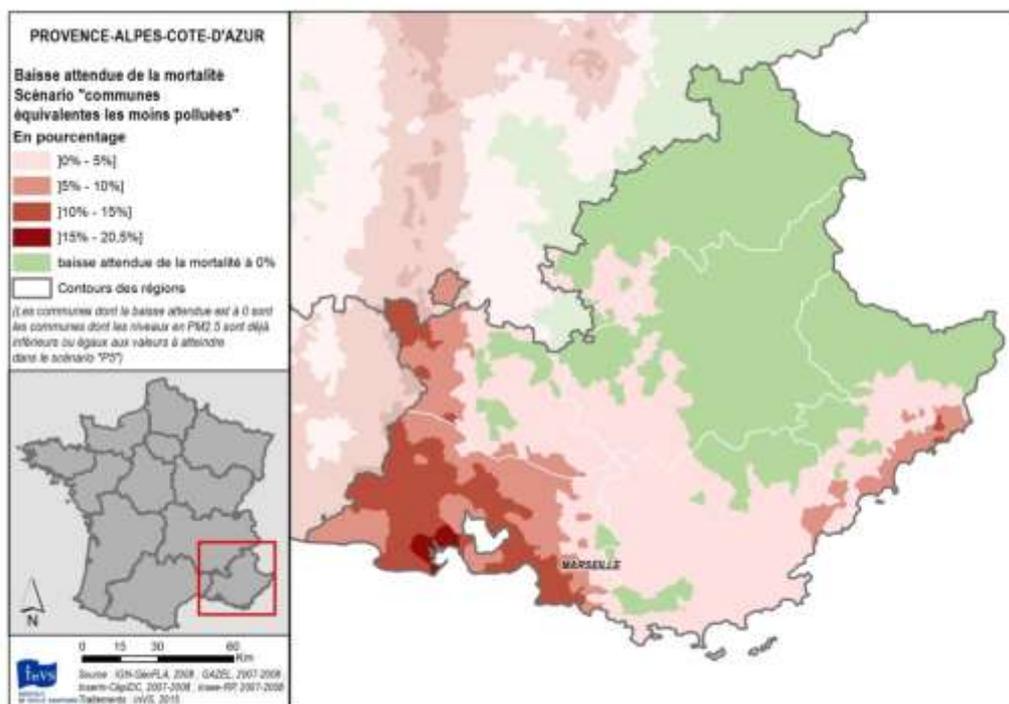
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « sans pollution anthropique » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 4 I



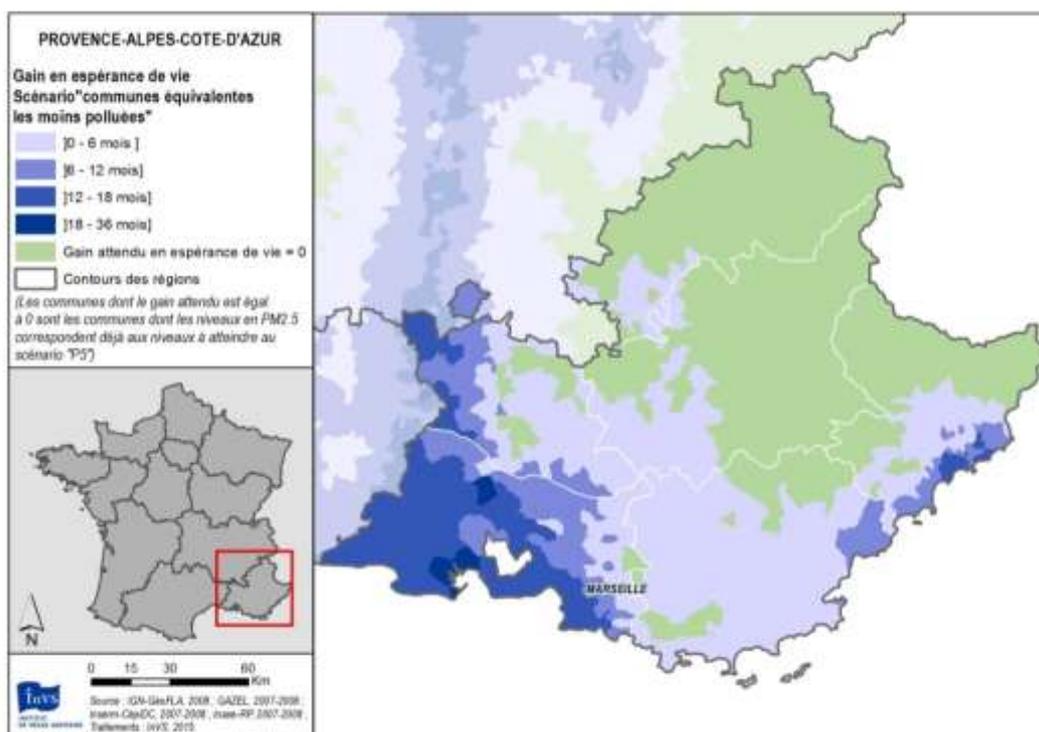
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « sans pollution anthropique »

I Figure 5 I



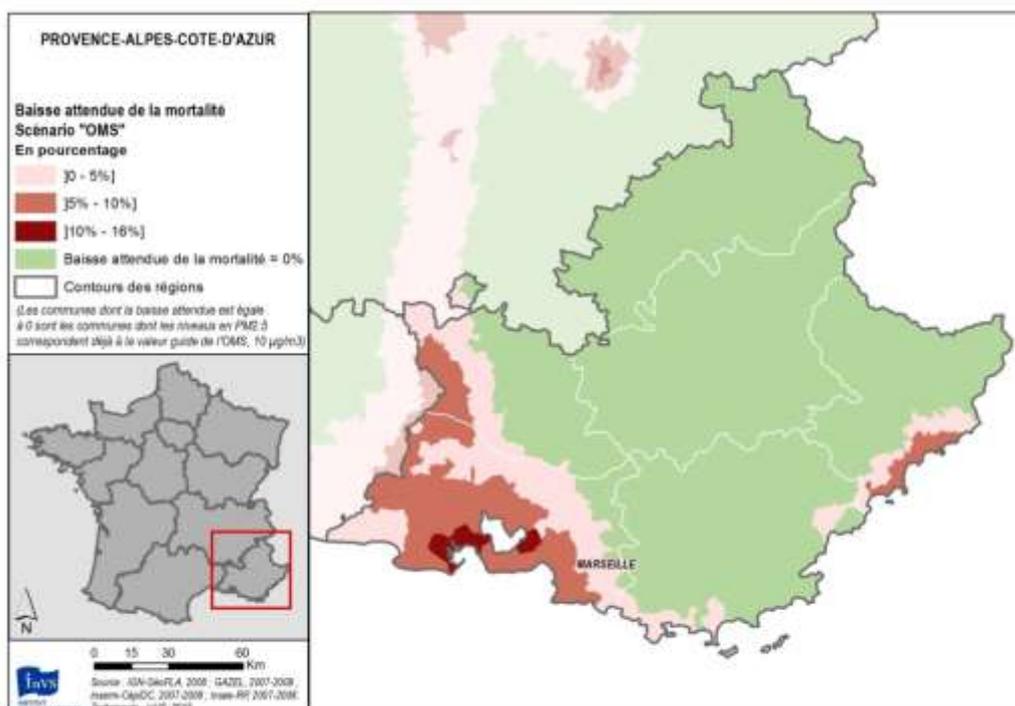
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 6 I



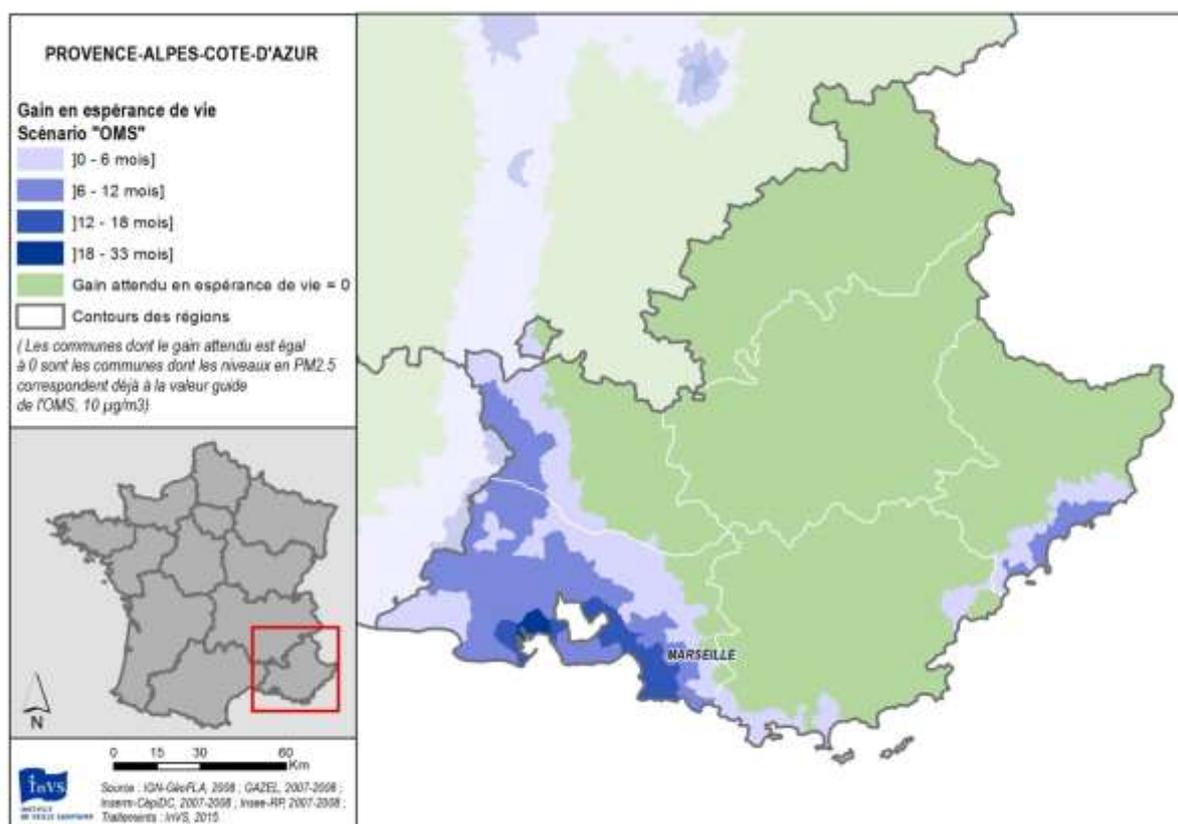
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées »

I Figure 7 I



Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « OMS » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 8 I



Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « OMS »

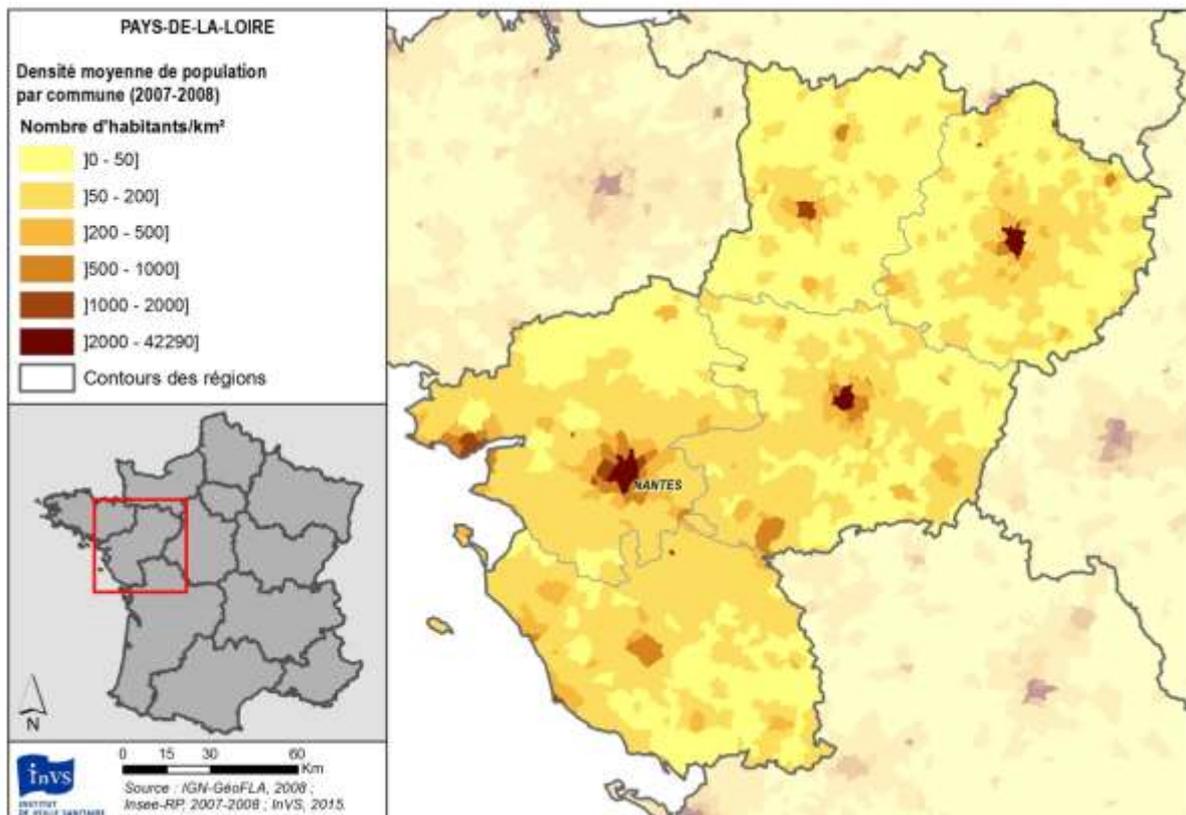
12. Pays-de-la-Loire

| Tableau 1 |

Nombre de communes, populations (tous âges et 30 ans et plus), mortalité totale 30 ans et plus (effectif et taux pour 100 000 habitants)

	Nombre de communes	Population totale	Population âgée de 30 ans et plus	Mortalité totale (30 ans et plus)	Mortalité totale pour 100 000 habitants (30 ans et plus)
Pays-de-la-Loire	1 502	3 496 500	2 180 933	28 892	1 325
Loire-Atlantique (44)	221	1 251 124	763 996	9 482	1 241
Maine et Loire (49)	363	773 082	469 771	6 080	1 294
Mayenne (53)	261	301 576	190 633	2 589	1 358
Sarthe (72)	375	558 465	355 048	5 061	1 425
Vendée (85)	282	612 254	401 486	5 682	1 415

| Figure 1 |



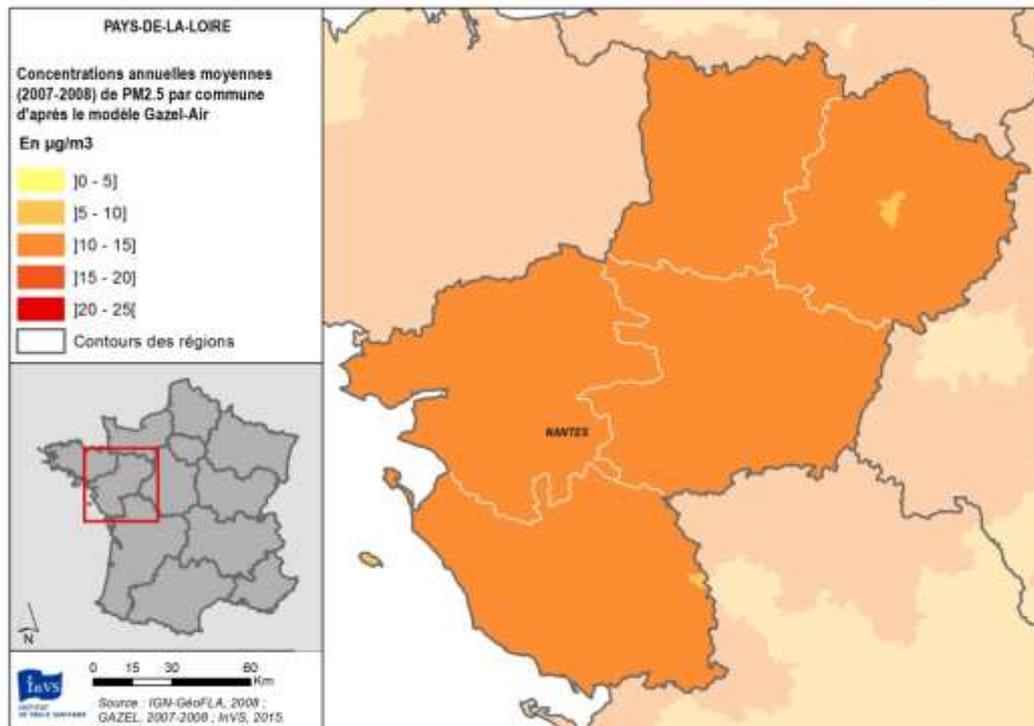
Densité de population (habitants/km²)

I Tableau 2 I

Concentrations annuelles moyennes de PM_{2,5} et population exposée à plus de 10, 15 et 20 µg/m³ en moyenne annuelle au cours de la période 2007-2008

	Concentration annuelle moyenne de PM _{2,5} *			Population exposée à plus		
	Ensemble de la zone µg/m ³	Commune la moins exposée µg/m ³	Commune la plus exposée µg/m ³	de 10 µg/m ³ en moyenne annuelle	de 15 µg/m ³ en moyenne annuelle	de 20 µg/m ³ en moyenne annuelle
Pays-de-la-Loire	11,4	9,9	13,3	3 335 387	0	0
Loire-Atlantique (44)	11,6	10,4	12,7	1 251 124	0	0
Maine et Loire (49)	11,9	10,6	13,3	773 082	0	0
Mayenne (53)	11,5	10,3	12,6	301 576	0	0
Sarthe (72)	11,0	9,9	12,1	403 574	0	0
Vendée (85)	10,8	9,9	12,1	606 031	0	0

I Figure 2 I



Concentrations annuelles moyennes de PM_{2,5} (moyenne 2007-2008, µg/m³)

I Tableau 3 |

Nombre de décès évitables sous les différents scénarios

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Pays-de-la-Loire	2 533 [911 : 3 934]	1 879 [673 : 2 933]	587 [207 : 929]	0	0
Loire-Atlantique (44)	857 [309 : 1 331]	526 [188 : 822]	220 [78 : 348]	0	0
Maine et Loire (49)	594 [215 : 919]	467 [168 : 728]	188 [67 : 297]	0	0
Mayenne (53)	235 [85 : 364]	215 [77 : 334]	61 [22 : 96]	0	0
Sarthe (72)	394 [141 : 613]	273 [98 : 426]	50 [18 : 79]	0	0
Vendée (85)	456 [164 : 710]	400 [143 : 624]	70 [25 : 110]	0	0

I Tableau 4 |

Gain moyen en espérance de vie à 30 ans (mois)

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Pays-de-la-Loire	12 [4 : 18]	11 [4 : 17]	3 [1 : 4]	0	0
Loire-Atlantique (44)	12 [5 : 19]	10 [4 : 16]	3 [1 : 5]	0	0
Maine et Loire (49)	12 [5 : 19]	12 [4 : 19]	4 [2 : 6]	0	0
Mayenne (53)	12 [4 : 18]	11 [4 : 18]	3 [1 : 5]	0	0
Sarthe (72)	11 [4 : 18]	11 [4 : 17]	2 [1 : 3]	0	0
Vendée (85)	11 [4 : 17]	10 [4 : 16]	2 [1 : 3]	0	0

* Les communes équivalentes les moins polluées sont définies à l'échelle de la France, et peuvent donc se trouver dans une autre région.

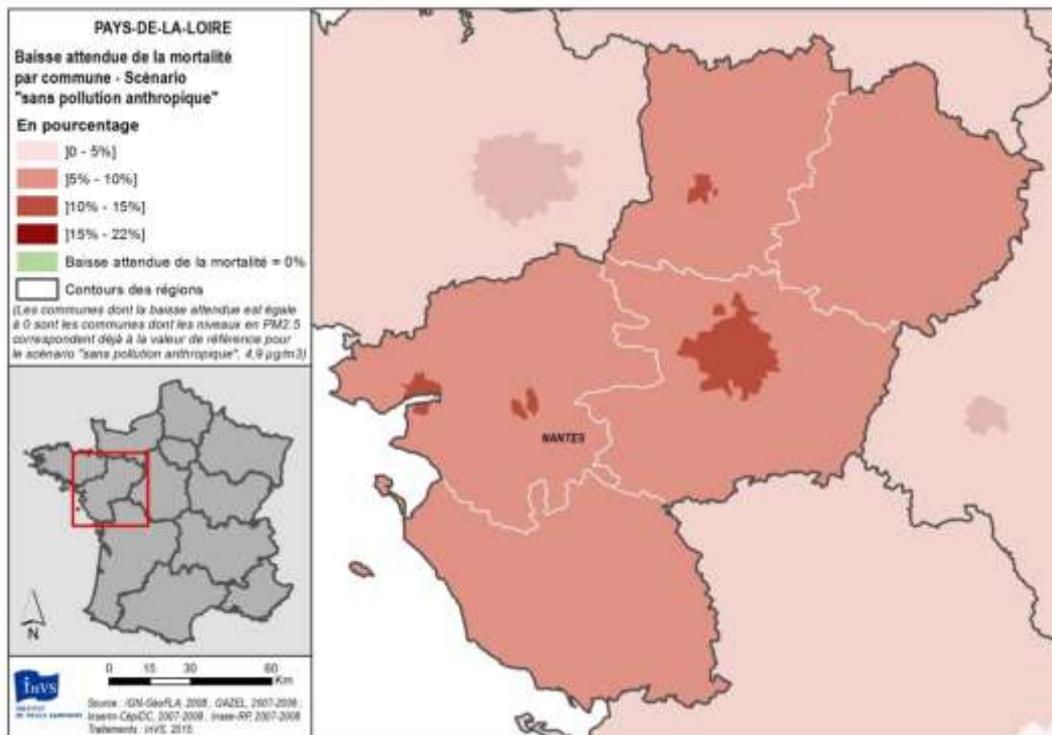
I Tableau 5 |

Nombre total d'années de vie gagnées

	Sans pollution anthropique	Communes équivalentes les moins polluées*	Valeur guide OMS (10 µg/m ³)	Grenelle de l'environnement (15 µg/m ³)	Valeur cible de la Directive européenne (20 µg/m ³)
Pays-de-la-Loire	41 287	29 914	9 653	0	0
	[14 350 : 66 226]	[10 408 : 47 928]	[3 366 : 15 429]		
Loire-Atlantique (44)	16 165	9 718	4 092	0	0
	[5 617 : 25 938]	[3 383 : 15 562]	[1 427 : 6 541]		
Maine et Loire (49)	9 819	7 705	3 048	0	0
	[3 412 : 15 756]	[2 680 : 12 352]	[1 063 : 4 873]		
Mayenne (53)	3 468	3 171	927	0	0
	[1 204 : 5 571]	[1 101 : 5 090]	[323 : 1 481]		
Sarthe (72)	5 632	3 749	636	0	0
	[1 960 : 9 026]	[1 305 : 6 004]	[222 : 1 016]		
Vendée (85)	6 205	5 573	952	0	0
	[2 160 : 9 938]	[1 941 : 8 922]	[332 : 1 520]		

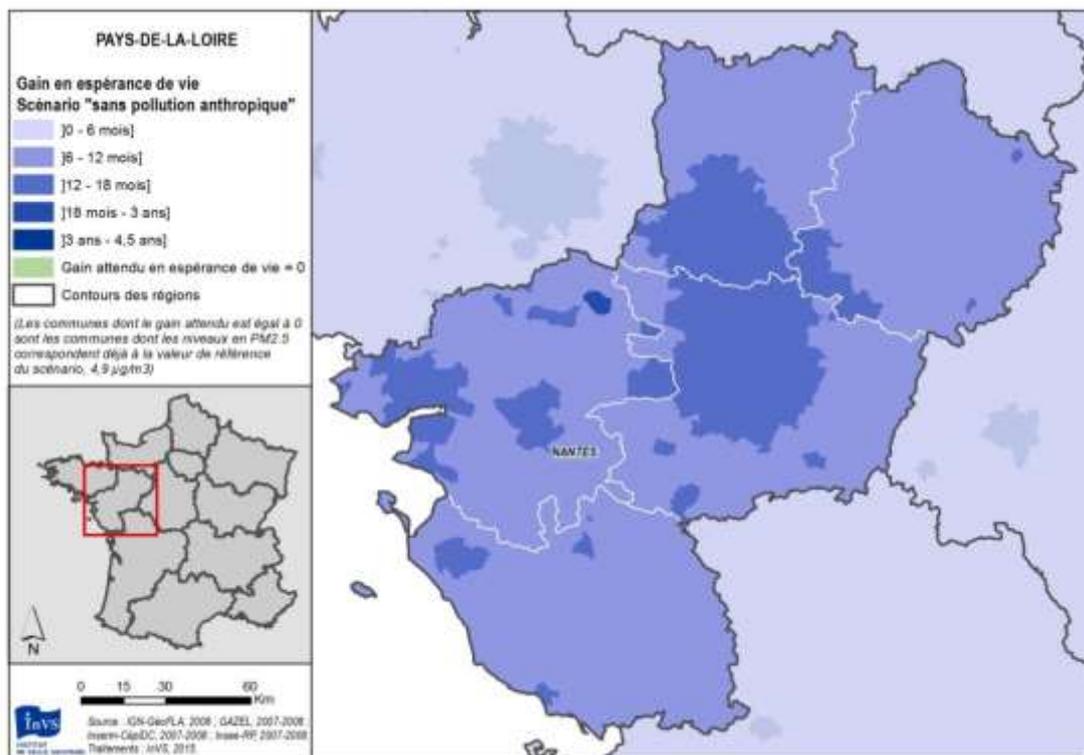
* Les communes équivalentes les moins polluées sont définies à l'échelle de la France, et peuvent donc se trouver dans une autre région.

I Figure 3 I



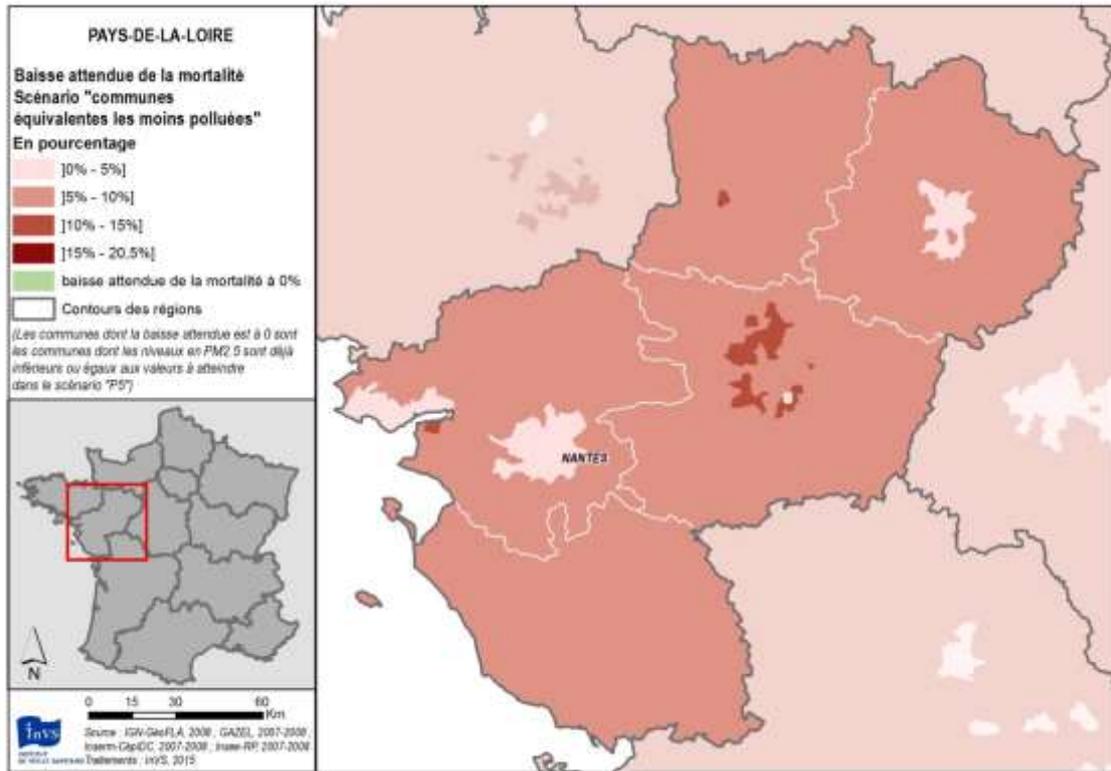
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « sans pollution anthropique » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 4 I



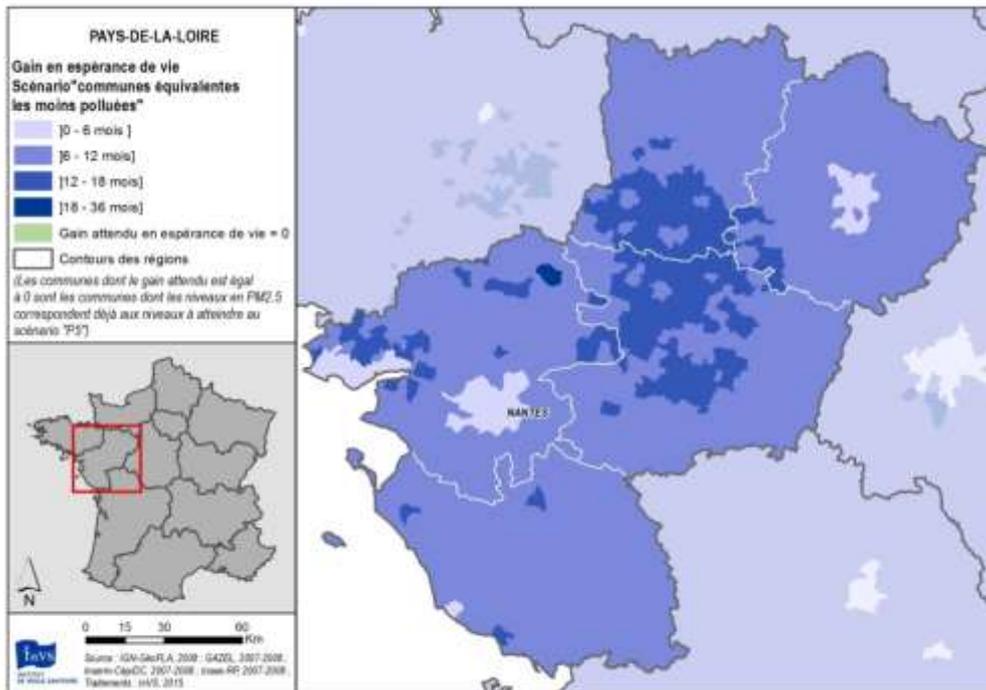
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « sans pollution anthropique »

I Figure 5 I



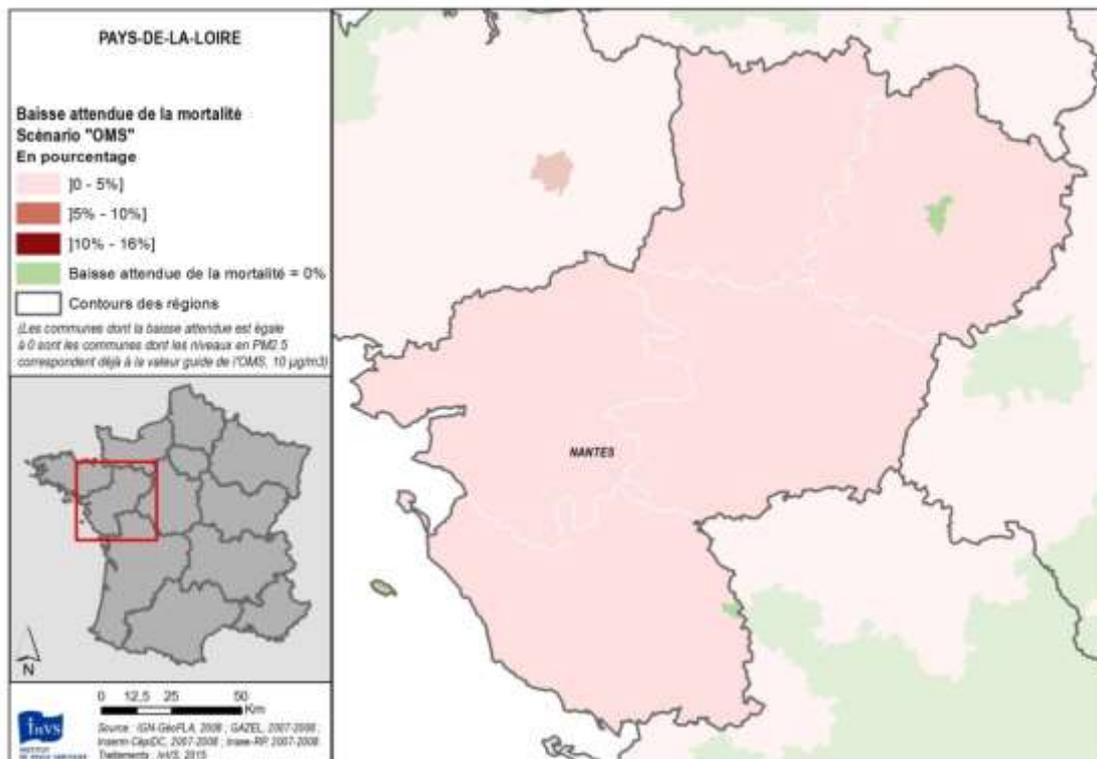
Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 6 I



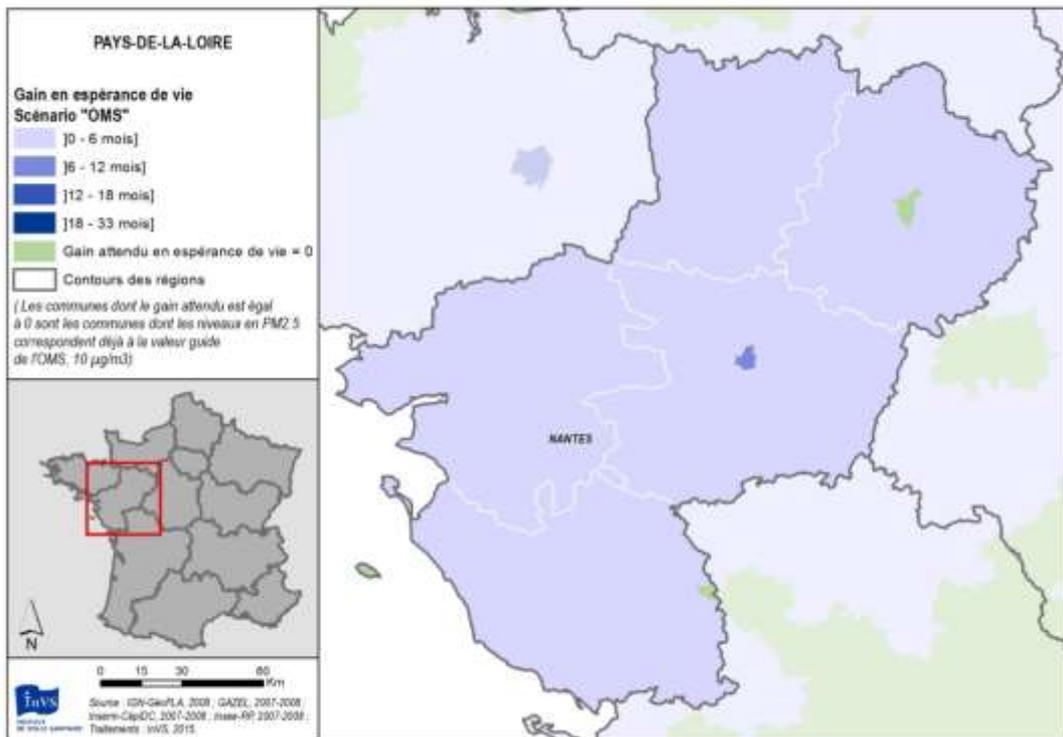
Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « communes équivalentes les moins polluées »

I Figure 7 I



Baisse de la mortalité attendue (%) sous le scénario « OMS » (pour chaque commune, nombre de décès évitables rapporté au nombre de décès observés)

I Figure 8 I



Gain moyen en espérance de vie à 30 ans sous le scénario « OMS »

Annexe 6 - Impacts de l'exposition chronique à l'ozone sur la mortalité respiratoire

A6.1. Méthode

La méthode est similaire à celle décrite pour les PM_{2,5} (particule fine de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm) dans les chapitres précédents, et seules les spécificités relatives à l'ozone sont détaillées ici.

13. A6.1.1. Choix des risques relatifs et des effets sanitaires étudiés

Si de nombreux articles documentent les impacts à court-terme de l'ozone, très peu d'études se sont intéressées aux impacts à long-terme. L'Organisation mondiale de la santé recommande en première intention d'analyser les impacts à court-terme de l'ozone sur la mortalité toutes causes (groupe A), ce qui n'a pas été possible dans cette étude, les données environnementales n'étant pas disponibles (le modèle Gazel-Air ne fournissait pas les données journalières d'ozone). L'analyse des impacts à long-terme sur la mortalité respiratoire est considérée comme une analyse alternative possible, mais avec des incertitudes plus grandes (groupe B). Cette option a été retenue, en utilisant le RR estimé par l'étude la plus robuste (Risque relatif - RR de 1,02 [1,01 :1,04] pour 10 µg.m⁻³ d'O₃) [97]. Cette étude américaine portait uniquement sur des populations urbaines. Nous avons cependant fait le choix d'utiliser le RR également pour les communes rurales.

14. A6.1.2. Estimation de l'exposition à l'ozone

Comme pour les PM_{2,5}, le modèle Gazel-Air a été utilisé pour estimer l'exposition à l'ozone à la commune, à partir des concentrations moyenne estivales (moyenne d'avril à septembre) modélisées sur la grille de 2x2 km. Cependant, dans ce cas, la cohérence entre estimation de l'exposition dans l'ÉQIS (Évaluation quantitative d'impact sanitaire) et dans l'étude épidémiologique source n'est plus assurée. Dans le cas de l'ozone, l'étude épidémiologique dont est tiré le RR utilisé les concentrations mesurées par des stations, et non modélisées.

Sur 1989-2008 l'étude de comparaison entre les données modélisées Gazel-Air (avec descente d'échelle et assimilation des mesures) et les données observées montre des corrélations supérieures à 0,75 pour les PM₁₀ et l'ozone pour l'année 2007, mais de seulement 0,42 pour les PM_{2,5} [23].

Pour l'ozone, nous n'avons pas pu utiliser les données du GBD (Global Burden of Disease) comme données alternatives d'exposition, le GBD ne fournissant que les moyennes annuelles, et donc non-comparable avec les moyennes estivales. Afin de mener une analyse de sensibilité sur l'exposition, nous avons obtenu les données d'ozones mesurées par les stations urbaines et périurbaines de 22 villes pour la période 2007-2008.

Données alternatives d'exposition à l'ozone

Des estimations alternatives de concentration d'ozone estivale ont été recherchées et utilisées dans le cadre d'une étude de sensibilité. Ces données n'étaient pas disponibles dans le GBD, qui utilise la concentration annuelle d'ozone. Nous avons obtenu les données d'ozone mesurées par les stations urbaines de 22 villes pour la période 2007-2008.

15. A6.1.3. Données de mortalité

La mortalité respiratoire pour les personnes de 30 ans et plus a été obtenue pour chaque commune auprès du CépiDC (Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès) pour la période 2007-2008.

16. A6.1.4. Méthode de calcul de l'impact sur la mortalité

La méthode décrite pour les PM_{2,5} a été utilisée, en considérant une relation log-linéaire sans seuil entre l'ozone estival et la mortalité respiratoire.

17. A6.1.5. Scénarios

Les deux scénarios principaux ont été utilisés pour l'ozone :

- **scénario « sans pollution anthropique »** : évaluation du nombre de décès évités chaque année si toutes les communes françaises atteignaient les niveaux d'ozone observés dans les communes françaises rurales les moins polluées. Le seuil est fixé au percentile 5 de la distribution des concentrations des polluants dans les communes rurales françaises. Ce scénario donne une estimation du poids total de la pollution en France continentale ;
- **scénario « communes équivalentes les moins polluées »** : évaluation du nombre de décès évités chaque année si toutes les communes françaises atteignaient les niveaux d'ozone observés dans les communes de type d'urbanisation équivalent les moins polluées. Autrement dit, les communes rurales atteindraient les niveaux les plus faibles observés dans les communes rurales les moins polluées, les communes urbaines de plus de 100 000 habitants atteindraient les niveaux les plus faibles observés dans les communes urbaines de plus de 100 000 habitants les moins polluées. Ce scénario est plus « réaliste » que le précédent, puisqu'il n'oblige pas une grande ville à respecter des valeurs observées dans des zones très peu peuplées, par exemple.

Pour l'ozone, il n'existe pas de valeurs de référence, OMS ou réglementaire en moyenne annuelle permettant de construire des scénarios de type respect de valeur de référence.

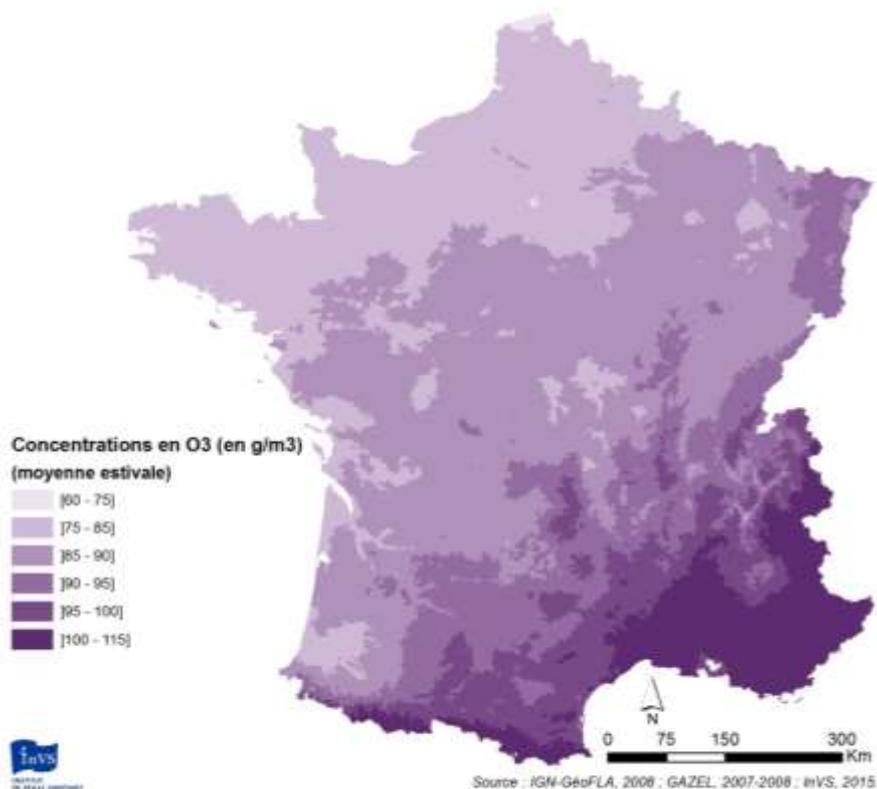
A6.2. Résultats

Les concentrations d'ozone présentent un gradient géographique très marqué, les niveaux les plus élevés étant retrouvés dans les régions du Sud, où les conditions climatiques sont favorables à la formation d'ozone (figure 1).

Les scénarios « sans pollution » et « communes équivalentes les moins polluées » donnent des résultats très proches ; sous ces scénarios, ce sont près de 500 décès respiratoires qui pourraient être évités chaque année (tableau 1).

I Figure 1 I

Concentrations estivales moyennes d'ozone utilisées dans l'EQIS (modèle Gazel-Air 2007-2008)



I Tableau 1 I

Nombre de décès respiratoires évitables sous les scénarios « sans pollution » et « communes équivalentes les moins polluées »

	Scénario sans pollution	Scénario communes équivalentes les moins polluées
Rurales	105 [53 :205]	105 [53 :205]
2 000 – 20 000 habitants	97 [49 :189]	109 [55 :212]
20 000 - 100 000 habitants	62 [31 :121]	71 [36 :139]
>100 000 habitants	152 [77 :296]	200 [101 :389]
France	415 [210 :810]	485 [245 :946]

A6.3. Analyses de sensibilité

L'impact de l'ozone est de 48 décès à partir des données mesurées, et de 61 décès à partir des données Gazel-Air. Il y a donc une bonne concordance des résultats obtenus avec les mesures et avec Gazel-Air (tableau 2).

I Tableau 2 I

Nombre de décès évitables par ville pour le scénario « sans pollution anthropique », comparaison des données mesurées et Gazel-Air

Unités urbaines	Ozone			
	Concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Nombre de décès évitables scénario « Sans pollution »	
	Mesures	Gazel-Air	Mesures	Gazel-Air
Bayonne	83,4	85,3	<1	1
Bordeaux	86,1	85,0	3	2
Grenoble	84,8	90,3	1	2
Le Havre	80,7	81,3	<1	<1
Lyon	85,1	86,7	3	4
Orléans	86,5	86,0	1	1
Paris	75,1	77,9	<1	<1
Rouen	79,2	81,8	<1	<1
Strasbourg	83,4	88,4	1	3
Toulouse	90,1	93,0	5	6
Tours	71,5	84,5	<1	1
Caen	70,5	79,0	<1	<1
Dijon	86,0	86,2	1	1
Lens-Douai	77,3	79,3	<1	<1
Lille	77,3	79,1	<1	<1
Marseille	95,4	102,2	15	21
Montpellier	98,1	101,4	5	6
Nancy	77,8	82,4	<1	<1
Nantes	80,8	82,0	<1	<1
Nice	104,0	102,8	13	13
Rennes	77,1	79,0	<1	<1
Total			48	61

Ainsi, l'exposition chronique à l'ozone serait responsable de près de 500 décès pour causes respiratoires chaque année, avec un gradient Nord-Sud très marqué du à l'influence des conditions météorologique sur la formation d'ozone. Cette estimation est a priori supérieure à celle du GBD, qui estimait que 514 décès toutes causes étaient attribuables à l'ozone en 2010 [12].

Quant aux incertitudes, le RR sélectionné est issu d'une seule étude de cohorte nord-américaine, en l'absence de résultats européens. L'incertitude est donc plus grande sur les résultats de l'EQIS ozone que sur les résultats $\text{PM}_{2.5}$. De plus, le RR sélectionné s'appuie sur des données mesurées,

l'appliquer à des données modélisées introduit donc une incertitude. Cependant, la grande cohérence entre données modélisées par le modèle Gaze-Air et les données mesurées par les stations des associations agréées de surveillance de la qualité de l'air laisse penser que cette incertitude est faible. Enfin, le risque relatif sélectionné n'a été estimé que pour des populations urbaines. Son application à des zones rurales introduit donc une incertitude supplémentaire.

Impacts de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité en France continentale et analyse des gains en santé de plusieurs scénarios de réduction de la pollution atmosphérique

La pollution de l'air est désormais considérée comme la première cause environnementale de mort prématurée dans le monde. Des résultats récents d'études de cohortes ont confirmé l'existence d'un risque de décès associé à l'exposition chronique aux particules fines (PM_{2,5}) dans la population européenne et française. Ces nouveaux résultats épidémiologiques ont été couplés à un modèle à fine échelle de modélisation de la qualité de l'air pour évaluer l'impact des PM_{2,5} sur la mortalité en France continentale, pour la période 2007-2008.

Plus de 48 000 décès par an pourraient être attribués aux PM_{2,5}, dont plus de la moitié dans les agglomérations de plus de 100 000 habitants. Si toutes les communes françaises respectaient la valeur recommandée par l'Organisation mondiale de la santé (10 µg/m³), ce sont plus de 17 000 décès qui pourraient être évités chaque année en France. Le gain moyen en espérance de vie à 30 ans serait alors de 4 mois en France, mais pourrait atteindre plus d'un an dans les communes les plus polluées.

Ces résultats confirment que des efforts poursuivant ceux mis en œuvre jusqu'à présent pour améliorer la qualité de l'air se traduiraient par une diminution de la mortalité liée aux PM_{2,5}.

Mots clés : exposition chronique aux PM_{2,5}, mortalité, évaluation quantitative des impacts sanitaires (EQIS), France continentale

Impact of chronic exposure to fine particles on mortality in mainland France

Worldwide, air pollution has become a main environmental cause of premature mortality. Recent cohort studies have confirmed the health risk associated with chronic exposure to fine particulate matter (PM_{2,5}) in the European and French populations. We coupled these new results with a fine-scale air quality model to assess the mortality impacts of PM_{2,5} in metropolitan France, for the 2007-2008 period.

PM_{2,5} were estimated to cause more than 48 000 premature deaths per year in France, more than half occurring in cities larger than 100 000 inhabitants. If none of the municipalities exceeded the World health organization guideline value for PM_{2,5} (10 µg m⁻³), more than 17 000 deaths would be avoided each year. The associated gain in life expectancy would be on average 4 months, but would exceed one year in the most polluted municipalities.

These results confirmed that actions to improve air quality would substantially improve health.

Citation suggérée :

Pascal M., de Crouy Chanel P., Corso M., Medina S., Wagner V., Gorla S., *et al.* Impacts de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité en France continentale et analyse des gains en santé de plusieurs scénarios de réduction de la pollution atmosphérique. Saint-Maurice : Santé publique France ; 2016. 158 p. Disponible à partir de l'URL : <http://invs.santepubliquefrance.fr/Dossiers-thematiques/Environnement-et-sante/Air-et-sante/Publications>

SANTÉ PUBLIQUE FRANCE

12 rue du Val d'Osne

94415 Saint-Maurice Cedex France

Tél. : 33 (0)1 41 79 67 00

Fax : 33 (0)1 41 79 67 67

www.santepubliquefrance.fr

ISSN: 1958-9719

ISBN-NET: 979-10-289-0216-2

Réalisé par Service communication – Santé publique France

Dépôt légal : juin 2016