

Octobre 2018

BÉNÉFICES SANITAIRES ATTENDUS D'UNE ZONE À FAIBLES ÉMISSIONS

Évaluation quantitative d'impact sanitaire prospective
pour l'agglomération parisienne



RAPPORT & ENQUÊTE



L'Observatoire de l'air en Île-de-France



OBSERVATOIRE
RÉGIONAL DE SANTÉ
ÎLE-DE-FRANCE



BÉNÉFICES SANITAIRES ATTENDUS D'UNE ZONE A FAIBLES EMISSIONS

**Évaluation quantitative d'impact
sanitaire prospective pour
l'agglomération parisienne**

Octobre 2018

Auteurs

Sabine HOST, Adrien SAUNAL (ORS Île-de-France)

Cécile HONORE, Fabrice JOLY (Airparif)

Alain LE TERTRE, Sylvia MEDINA (Santé publique France)

Etude collaborative

Santé publique France, Airparif

Remerciements

Nous remercions la Ville de Paris pour avoir facilité l'accès aux données environnementales.

Nous remercions Georges Salines et Juliette Labre du Service parisien de la santé environnementale (Ville de Paris) pour leurs conseils et leur relecture.

Nous remercions Amélie Gabet, Valérie Olié et Marie-Christine Delmas de la Direction des maladies non transmissibles et traumatismes de Santé publique France pour leur accompagnement scientifique pour la construction des indicateurs sanitaires ainsi que leur relecture.

Nous remercions Malek Bentayeb de la Direction santé environnement de Santé publique France, Nicolas Vincent de la Cire Île-de-France (Santé publique France) ainsi qu'Elodie Lebreton du réseau Périnat-ARS-IDF pour nous avoir fourni les indicateurs sanitaires.

Suggestion de citation

Sabine Host, Adrien Saunal, Cécile Honoré, Fabrice Joly, Alain Le Tertre et Sylvia Medina. Bénéfices sanitaires attendus d'une zone à faibles émissions : évaluation quantitative d'impact sanitaire prospective pour l'agglomération parisienne. Paris : Observatoire régional de santé Île-de-France, 2018

Il peut être reproduit ou diffusé librement pour un usage personnel et non destiné à des fins commerciales ou pour des courtes citations.

Pour tout autre usage, il convient de demander l'autorisation auprès de l'ORS.

RÉSUMÉ

Contexte et objectifs

La mise en place de zones à faibles émissions (ZFE) vise à diminuer les émissions de polluants du trafic routier par des restrictions de circulation. Ces dispositifs ont déjà été mis en œuvre dans plusieurs centaines de villes européennes. La mairie de Paris a instauré la mise en place progressive d'une ZFE depuis septembre 2015. En collaboration avec Airparif et Santé publique France, l'ORS Île-de-France conduit une évaluation des bénéfices sanitaires attendus de la ZFE parisienne et métropolitaine. Cette étude inédite repose sur des estimations à très fine échelle de l'exposition de la population. Elle s'intéresse aux enfants et aux adultes. Elle concerne les décès évitables chez les plus de 30 ans, les cas de faibles poids de naissance à terme, la survenue de nouveaux cas de cardiopathies ischémiques chez les adultes et de nouveaux cas d'asthme chez les enfants ainsi que le recours aux soins en lien avec ces pathologies. L'évaluation comporte également une analyse de la distribution des bénéfices selon le niveau socio-économique.

Méthodes

Cette évaluation prospective repose sur des méthodes d'évaluation quantitative d'impact sanitaire (EQIS). Fondée sur l'existence d'un lien causal établi entre l'exposition et l'effet sanitaire étudié, elle s'appuie sur des relations concentration-risque (C-R), sélectionnées à partir d'une revue des études épidémiologiques européennes les plus récentes, et mises en regard de la fréquence des effets sanitaires étudiés et des baisses attendues des niveaux de NO₂ estimées par Airparif. Ainsi, a été évalué le nombre attendu de cas évitables au sein d'une zone d'étude délimitée par le contour de la Francilienne, pour quatre scénarios de mise en œuvre d'une ZFE (deux périmètres et deux niveaux de restriction étudiés).

Résultats

Cette évaluation indique que la mise en œuvre du dispositif engendrerait des bénéfices sanitaires quel que soit le scénario considéré, aussi bien en termes de mortalité (entre 110 et 340 décès évitables) que de pathologies chroniques (entre 50 et 170 naissances de faibles poids, entre 40 et 130 cas de cardiopathie ischémique et entre 830 et 2 930 cas d'asthme évitables), que d'exacerbation de symptômes de ces pathologies (entre 140 et 410 hospitalisations pour cardiopathie ischémique et entre 190 et 700 recours aux urgences pour asthme évitables). Pour le scénario le plus favorable, les décès évitables représentent une baisse de l'ordre de 5 % des décès évitables pour une baisse des niveaux de NO₂ à la valeur recommandée par l'OMS (20 µg/m³)¹. Les résultats montrent aussi que les populations résidant au-delà du périmètre de la ZFE bénéficieraient aussi d'une amélioration de leur santé. L'analyse de la distribution des bénéfices sanitaires selon le niveau social des populations montre que les bénéfices seraient plus importants pour la fraction de population la plus favorisée et que cet écart serait minimisé par l'élargissement du périmètre de la ZFE à l'A86.

Conclusion

Ce travail innovant, issue d'une collaboration fructueuse entre l'ORS Île-de-France, Santé publique France et Airparif, permet de consolider des méthodes d'évaluation qui pourront être appliquées à d'autres facteurs de risque environnementaux et à d'autres dispositifs de réduction de la pollution atmosphérique en France en vue d'encourager leur développement et d'accompagner leur dimensionnement et leur mise en œuvre.

¹ Cette valeur n'a pas encore été publiée par l'OMS.

SOMMAIRE

1 INTRODUCTION	11
2 CONTEXTE.....	13
2.1 Évaluer les mesures de lutte contre la pollution atmosphérique	13
2.2 Scénarios de mise en œuvre d'une zone à faibles émissions en Île-de-France	13
3 METHODE	15
3.1 Zone d'étude et scénarios de mise en œuvre évalués.....	16
3.1.1 Zone d'étude	16
3.1.2 Scénarios évalués.....	17
3.2 Estimation de l'exposition de la population aux modifications attendues sur les concentrations en polluants de l'air.....	17
3.2.1 Estimation des modifications attendues sur la qualité de l'air pour les différents scénarios	17
3.2.2 Données de population.....	18
3.2.3 Estimation de la population exposée.....	20
3.3 Effets sanitaires et sous-populations envisagés, choix des relations concentration-risque.....	21
3.3.1 Risques liés à l'exposition chronique.....	23
3.3.2 Risques d'exacerbations liés à l'exposition à court terme.....	25
3.4 Définition des indicateurs sanitaires et recueil des données.....	25
3.4.1 Nombre de décès.....	25
3.4.2 Nombre de naissances de petit poids.....	26
3.4.3 Nouveaux cas de cardiopathies ischémiques.....	26
3.4.4 Nouveaux cas de mise sous traitement antiasthmatique	28
3.4.5 Hospitalisations pour cardiopathies ischémiques	28
3.4.6 Recours aux urgences pour asthme	29
3.5 Méthode de calculs d'impact.....	30
3.5.1 Impact lié au risque chronique.....	30
3.5.2 Impact sur les exacerbations.....	31
3.6 Analyse de l'impact différencié selon le niveau socio-économique	33
3.6.1 Choix des données et catégorisation socioéconomique	33
3.6.2 Périmètre de l'analyse et paramètres considérés.....	34
4 RESULTATS.....	37
4.1 Caractéristiques de la population étudiée	37
4.2 Modifications attendues des niveaux de NO ₂ et exposition de la population.....	37
4.3 Modifications attendues sur les niveaux de fond.....	41
4.4 Nombres d'événements sanitaires observés dans la population étudiée	41
4.4.1 Mortalité toutes causes non accidentelles et espérance de vie à 30 ans.....	41
4.4.2 Nombres de naissance de faible poids et effectifs de population	42
4.4.3 Nouveaux cas de cardiopathies ischémiques.....	43
4.4.4 Nouveaux cas de mise sous traitement antiasthmatique	43
4.4.5 Nombres d'hospitalisations pour cardiopathie ischémique.....	44
4.4.6 Nombres de recours aux urgences pour asthme	44

4.5	Bénéfices sanitaires potentiels attendus selon les scénarios étudiés	45
4.5.1	Bénéfices sanitaires liés à la diminution des risques chroniques	45
4.5.2	Bénéfices sanitaires liés à la diminution des risques sur les exacerbations	50
4.6	Défaveur sociale et bénéfices sanitaires potentiels attendus selon les scénarios de mise en œuvre étudiés	52
4.6.1	Répartition de la population selon le niveau de défaveur sociale	52
4.6.2	Exposition de la population selon le niveau de défaveur sociale	53
4.6.3	Bénéfices sanitaires potentiels en fonction du niveau de défaveur sociale	55
5 	ANALYSES DE SENSIBILITE	59
5.1	Bénéfices sanitaires potentiels estimés à partir des niveaux de PM _{2,5}	59
5.2	Bénéfices sanitaires potentiels estimés à partir de différents scénarios de projection démographique des données de population	60
5.3	Comparaison des bénéfices sanitaires potentiels attendus en fonction du choix de l'indice de défaveur sociale	61
5.3.1	Corrélations entre les différents indices	61
5.3.2	Bénéfices sanitaires potentiels attendus selon l'indice de défaveur sociale considéré	61
6 	DISCUSSION	63
6.1	Sources d'incertitudes	63
6.1.1	Estimation des niveaux	63
6.1.2	Estimation des expositions	65
6.1.3	Choix des relations concentration-risque	66
6.1.4	Définition et recueil des indicateurs sanitaires	67
6.2	Temporalité et persistance des effets	70
6.3	Impacts non évalués	70
6.3.1	Autres impacts sanitaires	70
6.3.2	Impacts socio-économiques	71
6.4	Mise en perspective des bénéfices attendus du dispositif avec les enjeux sanitaires globaux de la pollution de l'air	72
7 	CONCLUSION	73
7.1	Des bénéfices sanitaires attendus et d'autres non estimés	73
7.2	Des bénéfices sanitaires accrus et une plus grande équité sociale pour un périmètre élargi	75
7.3	Mise en perspective	75
	LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES	77
	ANNEXES	79
	BIBLIOGRAPHIE	99

LISTE DES FIGURES

Figure 1. EQIS prenant en compte la responsabilité de la pollution de l'air dans la survenue de pathologies chroniques et l'exacerbation des symptômes, exemple de l'asthme d'après (Chanel <i>et al.</i> , 2015).....	15
Figure 2. Délimitation et découpages de la zone d'étude	16
Figure 3. Superposition des différentes "grilles" de population (population au centroïde du bâtiment (points bleus), Iris (RP) et carroyage maille 200).....	19
Figure 4. Superposition de la population au centroïde des bâtiments et du carroyage maille 200 m (zoom sur un quartier du 12 ^e arr. de Paris)	19
Figure 5. Représentation schématique de la transposition des données	20
Figure 6. Croisement de la population résidente au centroïde du bâti avec la grille de delta de concentration en NO ₂ à 50 m (zoom quartier Paris 12 ^e).....	20
Figure 7. Logigramme de définition des nouveaux cas de cardiopathie ischémique	27
Figure 8. Logigramme de définition des nouveaux cas de mise sous traitement antiasthmatique	28
Figure 9. Chaîne de calcul de l'impact sanitaire global.....	32
Figure 10. Cartographies des niveaux annuels de NO ₂ dans le périmètre de la MGP pour le « fil de l'eau » 2018 et 2019 (à gauche) et pour les deux étapes d'une ZFE parisienne et élargie à l'intra A86 (au centre) et différences de concentrations entre le scénario ZFE et le « fil de l'eau » (à droite)	38
Figure 11. Exposition de la population résidant à Paris et dans la Métropole du Grand Paris (MGP) par classes de concentrations de dioxyde d'azote selon les étapes périmètres de la ZFE	39
Figure 12. Nombres annuels de décès potentiellement évitables chez les 30 ans et plus selon les scénarios étudiés	46
Figure 13. Nombres annuels de cas de cardiopathie ischémique potentiellement évitables chez les 40-74 ans selon les scénarios étudiés.....	47
Figure 14. Nombres annuels de cas d'asthme potentiellement évitables chez les 0- 17 ans selon les scénarios étudiés	48
Figure 15. Nombres annuels de naissances (à terme) de faible poids potentiellement évitables selon les scénarios étudiés	49
Figure 16. Nombres annuels d'hospitalisations pour cardiopathie ischémique évitées potentiellement évitables chez les plus de 40-74 ans selon les scénarios de mise en œuvre de la ZFE étudiés	50
Figure 17. Nombres annuels de recours aux urgences pour asthme potentiellement évitables chez les 0-17 ans selon les scénarios étudiés	51
Figure 18. Distribution de la population selon le niveau de l'indice de défaveur sociale (Fdep) pour trois périmètres	52
Figure 19. Niveau de défaveur sociale (Fdep) à l'IRIS au sein de la MGP	53
Figure 20. Distribution du nombre d'habitants selon le niveau d'exposition au NO ₂ (scénario fil de l'eau 2018), selon le territoire de résidence et selon le niveau de défaveur sociale (Fdep).....	54
Figure 21. Nombres de décès potentiellement évitables chez les plus de 30 ans selon les scénarios de mise en œuvre étudiés pour la population résidant au sein de la MGP en fonction du niveau de défaveur sociale (Fdep).....	55
Figure 22. Gain d'espérance de vie chez les 30 ans et plus selon les scénarios de mise en œuvre de la ZFE étudiés pour la population résidant au sein de la MGP en fonction du niveau de défaveur sociale (Fdep)	56
Figure 23. Nombres de cas d'asthme potentiellement évitables chez les 0-17 ans selon les scénarios de mise en œuvre étudiés pour la population résidant au sein de la MGP en fonction du niveau de défaveur sociale (Fdep).....	56
Figure 24. Comparaison des nombres de cas potentiellement évitables estimés respectivement à partir des expositions au NO ₂ et aux PM _{2,5} pour la population appartenant à la zone d'étude (périmètre intra-Francilienne) selon les scénarios.....	59
Figure 25. Comparaison des nombres de décès potentiellement évitables chez les plus de 30 ans au sein de la MGP pour deux scénarios (ZFE4 et ZFE _{élargie} 4) en fonction du niveau de défaveur sociale selon l'indice considéré (Fdep, EDI et taux de bas revenu)62	62

Figure 26. Comparaison des niveaux de NO ₂ estimés par le modèle et ceux mesurés (moyenne annuelle en µg/m ³)	64
Figure 27. Croisement de la population résidente avec la grille de concentration en NO ₂ à 50 m selon deux méthodes (zoom quartier Paris 12 ^e)	66
Figure 28. Effectifs de population des ménages (Paris 12 ^e) potentiellement exposée à différents niveaux de NO ₂ estimés selon deux méthodes	66
Figure 29. Schéma conceptuel des modes d'action du dispositif sur les déterminants de santé et leurs bénéfices	71
Figure 30. Nombres annuels de décès potentiellement évitables chez les 30 ans et plus selon les scénarios étudiés	92
Figure 31. Nombres annuels de cas de cardiopathie ischémique potentiellement évitables chez les 40-74 ans selon les scénarios étudiés	94
Figure 32. Nombres annuels de naissances (à terme) de faible poids potentiellement évitables selon les scénarios étudiés	95
Figure 33. Nombres annuels d'hospitalisations pour cardiopathie ischémique évitées potentiellement évitables chez les plus de 40-74 ans selon les scénarios de étudiés ...	96
Figure 34. Comparaison de la distribution de la population selon le niveau de l'indice de défaveur sociale considéré au sein de la MGP	98

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Scénarios étudiés : périmètres, véhicules concernés, niveaux d'interdiction et dates de mise en œuvre d'une ZFE	14
Tableau 2. Scénarios étudiés dans le cadre de l'évaluation quantitative des bénéfices sanitaires attendus et scénarios de référence (fil de l'eau)	17
Tableau 3. Description des différentes sources de données utilisées pour l'estimation des effectifs de population exposée (effectifs pour Paris).....	18
Tableau 4. Indicateurs sanitaires envisagés pour l'évaluation quantitative d'impact sanitaire (EQIS).....	21
Tableau 5. Relations C-R retenues pour l'évaluation du risque de survenue de décès .	23
Tableau 6. Relation C-R retenues pour l'évaluation du risque de faible poids de naissance (à terme).....	23
Tableau 7. Relation C-R retenues pour l'évaluation du risque de survenue de nouveaux cas d'asthme chez l'enfant.....	24
Tableau 8. Relations C-R du risque de survenue de cardiopathie ischémique chez les adultes	24
Tableau 9. Relations C-R du risque de recours aux urgences chez les enfants	25
Tableau 10. Relations C-R du risque d'hospitalisation pour cardiopathie ischémique chez l'adulte.....	25
Tableau 11. Avantages et inconvénients des deux indices composites retenus	35
Tableau 12. Population des ménages et taux par sous-catégorie d'âge pour chaque sous-périmètre.....	37
Tableau 13. Distribution de la population des ménages en fonction des diminutions attendues des niveaux de NO ₂ (en µg/m ³) selon le sous-périmètre géographique et le scénario étudié par rapport au scénario fil de l'eau.....	40
Tableau 14. Distribution de la population des ménages en fonction des diminutions attendues des niveaux de fond de NO ₂ (en µg/m ³) selon le sous-périmètre géographique et le scénario étudié par rapport au scénario fil de l'eau	41
Tableau 15. Population des plus de 30 ans (RP 2012, Insee 2012), mortalité totale annuelle toute cause non accidentelle des plus de 30 ans, taux brut et espérance de vie à 30 ans selon les périmètres d'étude.....	42
Tableau 16. Nombres de naissances (Insee, 2016) et nombres de naissances vivantes (>37 SA) de faible poids en 2016 par départements franciliens.....	42
Tableau 17. Nouveaux cas de cardiopathies ischémiques, approchés par les hospitalisations, en 2016 chez les 40-74 ans.....	43
Tableau 18. Population des 0-17 ans (Insee RP 2014) et nouveaux cas d'asthme en 2016 chez les 0-17 ans estimés à partir des délivrances de médicaments*	43

Tableau 19. Population des 40-74 ans (RP Insee 2014) et hospitalisations pour cardiopathies ischémiques en 2016 chez les 40-74 ans selon les périmètres d'étude...	44
Tableau 20. Nombres de consultations aux urgences pour asthme chez les 0-17 ans et taux de codage des diagnostics	44
Tableau 21. Nombres annuels de décès potentiellement évitables chez les 30 ans et plus et pourcentages selon les scénarios étudiés	45
Tableau 22. Nombres d'années de vie gagnées (ans) et gains moyens annuels d'espérance de vie (en jours) attendus chez les 30 ans et plus selon les scénarios étudiés	46
Tableau 23. Nombres annuels de cas de cardiopathie ischémique potentiellement évitables chez les 40-74 ans et pourcentages selon les scénarios étudiés	47
Tableau 24. Nombres annuels de cas d'asthme potentiellement évitables chez les 0-17 ans et pourcentages selon les scénarios étudiés	48
Tableau 25. Nombres annuels de naissances (à terme) de faible poids potentiellement évitables et pourcentages selon les scénarios étudiés	49
Tableau 26. Nombres annuels d'hospitalisations pour cardiopathie ischémique potentiellement évitables chez les 40-74 ans et pourcentages selon les scénarios étudiés	50
Tableau 27. Nombres annuels de recours aux urgences pour asthme chez les 0-17 ans potentiellement évitables et pourcentages selon les scénarios de mise en œuvre de la ZFE étudiés	51
Tableau 28. Distribution de la population selon le niveau de l'indice de défaveur sociale (Fdep) pour trois périmètres	52
Tableau 29. Répartition des habitants de la MGP de 30 ans et plus selon le niveau de défaveur sociale	55
Tableau 30. Répartition des habitants de la MGP de 30 ans et plus selon le niveau de défaveur sociale	57
Tableau 31. Estimations comparatives des nombres de décès potentiellement évitables chez les plus de 30 ans selon trois hypothèses d'évolution démographique de la population	60
Tableau 32. Estimations comparatives des nombres de cas d'asthme potentiellement évitables chez les 0-17 ans selon trois hypothèses d'évolution démographique de la population	60
Tableau 33. Indice de corrélation entre les trois indices de défaveur sociale à l'Iris au sein de la MGP selon les 3 sous-zones délimitées par les périmètres ZFE	61
Tableau 34. Proportion de décès évitables (chez ≥ 30 ans) du fait de la mise en œuvre de la ZFE selon les scénarios étudiés par rapport aux décès évitables selon un scénario où les niveaux de NO ₂ sont inférieurs à 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	72
Tableau 35. Bénéfices sanitaires annuels attendus pour la population appartenant à la zone d'étude (périmètre intra-Francilienne) selon les scénarios étudiés	74
Tableau 36. Liste des communes appartenant à chaque sous-périmètre	79
Tableau 37. Caractéristiques des études incluses dans la méta-analyse pour l'estimation du risque de survenue de nouveaux cas d'asthme chez l'enfant suite à une exposition chronique	80
Tableau 38. Risque de survenue de nouveaux cas d'asthme chez l'enfant : relation C-R retenue et détail des risques utilisés pour la méta-analyse	81
Tableau 39. Caractéristiques des études incluses dans la méta-analyse ESCAPE pour l'estimation du risque de survenue de cardiopathie ischémique suite à une exposition chronique	82
Tableau 40. Caractéristiques des études incluses dans la méta-analyse pour l'estimation du risque de recours aux urgences pour asthme chez l'enfant	83
Tableau 41. Recours aux urgences pour asthme chez l'enfant et exposition aux PM _{2,5} : relation C-R retenue et détail des risques utilisés pour la méta-analyse	84
Tableau 42. Recours aux urgences pour asthme chez l'enfant et exposition aux NO ₂ : relation C-R retenue et détail des risques utilisés pour la méta-analyse	84
Tableau 43. Caractéristiques des études incluses dans la méta-analyse pour l'estimation du risque d'hospitalisation pour pathologie cardiaque	85

Tableau 44. Risque d'hospitalisation pour cardiopathie ischémique chez les adultes et exposition aux NO ₂ : relation C-R retenue et détail des risques utilisés pour la méta-analyse.....	86
Tableau 45. Risque d'hospitalisation pour cardiopathie ischémique chez les adultes et exposition aux PM _{2,5} : relation C-R retenue et détail des risques utilisés pour la méta-analyse.....	86
Tableau 46. Hypothèses retenues pour les projections démographiques de la population francilienne.....	88
Tableau 47. Taux d'évolution de la population entre 2012 et les deux échéances considérées par département et par catégorie d'âges selon un scénario tendanciel.....	89
Tableau 48. Taux d'évolution de la population entre 2012 et les deux échéances considérées par département et par catégorie d'âges selon un scénario volontariste ...	89
Tableau 49. Nombre annuel de décès potentiellement évitables et pourcentage selon les scénarios de mise en œuvre de la ZFE étudiés	92
Tableau 50. Nombres totaux d'années de vie gagnées et gains moyens d'espérance de vie (en jours) annuels selon les scénarios étudiés	93
Tableau 51. Nombres annuels de cas de cardiopathie ischémique potentiellement évitables chez les 40-74 ans et pourcentages selon les scénarios étudiés	93
Tableau 52. Nombres annuels de naissances (à terme) de faible poids potentiellement évitables et pourcentages selon les scénarios étudiés	95
Tableau 53. Nombres annuels d'hospitalisations pour cardiopathie ischémique potentiellement évitables chez les 40-74 ans et pourcentages selon les scénarios étudiés	96
Tableau 54. Distribution de la population selon le niveau de l'indice de défaveur sociale (EDI) pour 3 périmètres.....	97
Tableau 55. Distribution de la population selon le taux de bas revenu (BR) pour 3 périmètres MGP	97

LISTE DES ENCADRES

Encadré 1 . Ventilation de la population des ménages sur les zones d'habitat du mode d'occupation des sols (Mos) d'Île-de-France au bâtiment	18
Encadré 2 . Le projet européen ESCAPE	22
Encadré 3 . Définition d'une méta-analyse.....	23
Encadré 4 . Système d'information inter-régimes de l'assurance maladie (SNIIRAM)...	27
Encadré 5 . Programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI)	29

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Composition communale de la zone d'étude et de ses sous-périmètres.....	79
Annexe 2 : Caractéristiques des études utilisées dans les méta-analyses pour l'estimation des risques sanitaires	80
Annexe 3 : Documentation concernant les données carroyées à 200 mètres	87
Annexe 4 : Projection démographique pour l'Île-de-France	88
Annexe 5 : Méthode de calcul de l'impact de la pollution sur l'espérance de vie à 30 ans	90
Annexe 6 : Bénéfices sanitaires potentiels estimés à partir des niveaux de PM _{2,5}	92
Annexe 7 : Description de la répartition de la population selon l'indice de défaveur sociale considéré.....	97

1 | INTRODUCTION

L'exposition à la pollution 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 sur la reproduction, sur le développement de l'enfant, sur les maladies endocriniennes ou encore neurologiques. Cela se traduit par une augmentation de la mortalité, une baisse de l'espérance de vie et un recours accru aux soins. Ces effets sanitaires sont observés pour des niveaux d'exposition couramment rencontrés dans l'agglomération parisienne et la pollution de l'air reste un problème majeur de santé publique dans la région. Il a été ainsi estimé que l'exposition chronique à la pollution de l'air en Île-de-France était responsable annuellement de l'ordre 10 000 décès, soit 15 % de la mortalité totale. Cela représente une perte d'espérance de vie à 30 ans de 16 mois en moyenne (Host *et al.*, 2012).

Le trafic routier constitue une source d'émission de polluants atmosphériques particulièrement préoccupante dont l'exposition favorise le développement de pathologies chroniques et l'accroissement de la mortalité.

Parmi les nombreux émetteurs de polluants atmosphériques, le trafic routier constitue une source particulièrement préoccupante du fait de l'intensité et de la nature des émissions ainsi que de l'urbanisation dense à proximité des voies à grande circulation. Il a été montré le poids important du trafic routier dans l'agglomération parisienne en matière de santé publique avec l'exemple de l'asthme chez l'enfant dont 16 % des nouveaux cas seraient attribuables à ces expositions (Host *et al.*, 2012).

Parmi les mesures de lutte contre les émissions de polluants du trafic routier figure la mise en place de zones à faibles émissions (ZFE) ou *low emission zones* (LEZ)¹. Il s'agit de dispositifs de restriction de la circulation qui ont été mis en œuvre dans plusieurs centaines de villes européennes. Ils visent à interdire la circulation des véhicules les plus émetteurs de polluants atmosphériques. Initiées en 1996 par trois villes suédoises, leur généralisation a commencé en Europe en 2007. Aujourd'hui, on en compte plus de 200 au sein d'une dizaine de pays (Pouponneau *et al.*, 2017). En France, grâce à l'article 48 de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte adoptée en août 2015, il est désormais permis de mettre en place de tels dispositifs, sur la base de la classification Crit'Air.

Les zones à faibles émissions (ZFE) sont des dispositifs de restriction de la circulation des véhicules les plus émetteurs de polluants atmosphériques.

Dans ce contexte, la mairie de Paris a instauré la mise en place progressive d'une ZFE à Paris, la première échéance ayant déjà pris effet le 1^{er} septembre 2015. Parmi les défis du Plan de protection de l'atmosphère (PPA) francilien² approuvé le 31 janvier 2018, une mesure concerne l'accompagnement de la mise en place d'une zone à faibles émissions élargie. Le périmètre pourrait ainsi s'étendre jusqu'aux contours de l'autoroute A86. A cet effet, la Métropole du Grand Paris (MGP) et ses partenaires réalisent actuellement des études de préfiguration d'une telle zone³.

Conformément à son programme stratégique de surveillance 2016-2021, intégrant notamment des éléments d'aide au dimensionnement et au suivi des plans d'actions, Airparif a accompagné la mairie de Paris pour évaluer l'impact attendu de ce dispositif sur les concentrations de polluants atmosphériques. Dans l'objectif de compléter les

¹ Zone d'actions prioritaires pour l'air (ZAPA), zone à circulation restreinte (ZCR), zone à basses émissions (ZBE), zone à faibles émissions (ZFE)... Ces acronymes désignent des dispositifs équivalents dont l'objectif est de diminuer les impacts du trafic routier sur la qualité de l'air en accélérant le processus de renouvellement du parc technologique. Leur mise en œuvre s'appuie sur un classement des véhicules en fonction de leur niveau d'émission de polluants atmosphériques. Les dispositifs les plus récents s'appuient sur l'arrêté du 21 juin 2016, qui a instauré la nomenclature des vignettes Crit'Air.

² Régis par le code de l'environnement, les PPA permettent de planifier des actions pour reconquérir et préserver la qualité de l'air sur les territoires concernés par des dépassements de valeurs réglementaires. Le PPA francilien est consultable en ligne <https://www.maqualitedelair-idf.fr/>

³ Travaux soutenus par le ministère de la Transition écologique et solidaire dans le cadre de l'appel à projet « Villes respirables en 5 ans »

En collaboration avec Santé publique France et Airparif, l'ORS a conduit une évaluation quantitative prospective d'impact sanitaire inédite de la mise en œuvre d'une ZFE à Paris et au sein de la MGP.

informations mises à disposition des décideurs sur le dimensionnement de la ZFE, l'ORS Île-de-France a conduit une évaluation quantitative de l'impact sanitaire attendu de la mise en œuvre de la ZFE parisienne et élargie à l'intra-A86 dans le cadre d'une collaboration avec Airparif et Santé publique France.

Cette évaluation s'appuie sur des méthodes de quantification existantes mais jusqu'alors peu appliquées pour évaluer des interventions programmées. Il s'agit d'une étude inédite qui repose sur des estimations à très fine échelle de l'exposition de la population et qui s'inscrit dans la continuité des développements réalisés dans le cadre du projet européen APHEKOM¹ prônant une évaluation globale des impacts sanitaires (Perez *et al.*, 2013; Chanel *et al.*, 2015). Cette évaluation s'intéresse aux enfants et aux adultes et porte sur un large panel d'événements sanitaires liés aux expositions à long terme, responsables de décès anticipés et de survenues de pathologies chroniques, mais également aux expositions à court terme qui exacerbent les symptômes de ces pathologies. L'évaluation comporte également une analyse de la distribution des bénéfices selon le niveau socio-économique.

¹ Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe

2 | CONTEXTE

2.1 Évaluer les mesures de lutte contre la pollution atmosphérique

Il existe deux grandes approches permettant d'analyser ou quantifier l'impact sur la santé de la mise en œuvre de dispositifs ayant pour effet de modifier la qualité de l'air : les approches épidémiologiques et les évaluations quantitatives d'impact sanitaire (EQIS). Les premières permettent d'établir un éventuel lien entre diminution de la pollution atmosphérique et amélioration de la santé (Ségala *et al.*, 2017). Les EQIS utilisent des relations concentration-risque produites par d'autres études épidémiologiques pour quantifier (le plus souvent de manière prédictive) l'effet d'un changement d'exposition à la pollution sur la santé ; elles n'apportent pas de connaissances supplémentaires sur le lien entre pollution et santé (Host *et al.*, 2017).

Tandis que, dans certains cas, la réalisation d'une étude épidémiologique est difficile à mettre en œuvre, l'EQIS apparaît alors comme l'option la plus adaptée. Particulièrement pertinente dans le cadre d'interventions projetées, les EQIS peuvent s'avérer utiles pour anticiper l'impact d'un projet futur et aider à en planifier le développement.

Dans ce cadre, l'évaluation permet d'estimer l'impact futur, à une échéance donnée, de l'intervention en cours ou en projet. Les résultats vont refléter le gain sanitaire attendu si le niveau du polluant était ramené à la date de l'intervention à un certain seuil ou enregistrait un certain niveau de baisse. Cela implique, dans la mesure du possible, de considérer les évolutions démographiques, l'évolution de l'état de santé de la population et de l'espérance de vie en particulier, mais aussi l'évolution du poids des autres facteurs tels que le tabagisme, l'offre de soin...

La réalisation d'EQIS implique l'existence d'un lien causal entre l'exposition et l'effet sanitaire étudié. Elles s'appuient sur des relations concentration-risque (C-R) issues d'études épidémiologiques, qui sont appliquées aux données sanitaires et environnementales collectées dans la zone concernée par l'intervention afin de calculer l'impact sanitaire attendu. Ainsi, le choix des indicateurs sanitaires et d'exposition, la sélection des relations concentration-risque, de même que l'estimation des niveaux de polluants constituent des étapes fondamentales.

Enfin, l'impact d'une mesure de lutte contre la pollution atmosphérique est évalué par rapport à une situation de référence, dont les hypothèses de construction doivent être explicitées.

La réalisation d'EQIS implique l'existence d'un lien causal entre l'exposition et l'effet sanitaire étudié et s'appuie sur des relations concentration-risque (C-R) issues d'études épidémiologiques.

2.2 Scénarios de mise en œuvre d'une zone à faibles émissions en Île-de-France

Les baisses des niveaux de PM_{2,5} et de NO₂ ont été estimées par Airparif dans le cadre d'une étude réalisée pour le compte de la mairie de Paris, visant à évaluer de façon prospective les gains en émissions et en concentrations liés à la mise en œuvre d'une ZFE progressive sur le territoire parisien et sur une zone élargie à l'intra-A86. La création d'une zone à faibles émissions consiste à limiter l'accès du territoire aux véhicules les plus polluants identifiés d'après une classification. Il est attendu que cette mesure ait pour effet d'accélérer le renouvellement du parc automobile au sein de la zone.

Outre le périmètre de la zone, les autres paramètres du dispositif sont : la définition des véhicules concernés par l'interdiction, la période temporelle (24h/24 ou sur une période plus restreinte ; tous les jours ou les jours ouvrés seulement par exemple) et la date d'entrée en vigueur de l'interdiction. Les scénarios étudiés par Airparif¹ sont présentés dans le Tableau 1 (Airparif, 2018).

Tableau 1. Scénarios étudiés : périmètres, véhicules concernés, niveaux d'interdiction et dates de mise en œuvre d'une ZFE

	CRIT'Air	Périmètre d'interdiction			Véhicules concernés
		Paris avec boulevard périphérique	Paris sans boulevard périphérique	Intra A86 A86 exclue	
Étape 1 1 ^{er} juillet 2016		✓			
Étape 2 1 ^{er} juillet 2017		✓		✓	
Étape 3 1 ^{er} juillet 2018		✓	✓	✓ ZFEélargie ³	
Étape 4 1 ^{er} juillet 2019		✓ ZFE4	✓	✓ ZFEélargie ⁴	

✓ Scénarios étudiés par Airparif

Scénarios traduits en bénéfices sanitaires

VP:véhicules particuliers ; VUL:véhicules utilitaires légers (<3,5t) ; PL:poids lourds (>3,5t) ; TC:bus et cars ; 2RM:2 roues motorisés

Nota : au moment de la publication de ce rapport, les scénarios de ZFE correspondant aux étapes 1 et 2 sont effectivement entrés en vigueur à Paris. Les dates d'entrée en vigueur des étapes 3 et 4 prévues initialement pour le périmètre parisien ont été repoussées à une date ultérieure. Les scénarios relatifs au périmètre intra-A86 correspondant aux étapes 2, 3 et 4 sont à l'étude au sein des instances de la Métropole du Grand Paris pour une possible mise en œuvre à partir de juillet 2019, avec une progressivité des étapes les années suivantes.

Pour chaque scénario de ZFE, l'estimation des impacts est faite par comparaison à un scénario « fil de l'eau », correspondant à la situation future si aucune mesure de restriction de circulation n'est mise en œuvre.

¹ Le rapport complet de l'étude Airparif, présentant l'ensemble des résultats des différents scénarios est disponible sur le site Internet d'Airparif : http://www.airparif.asso.fr/pdf/publications/Rapport_ZBE_2016-2019_070518.pdf , ainsi qu'une synthèse des principaux résultats : http://www.airparif.asso.fr/pdf/publications/synthese_zbe_180329.pdf

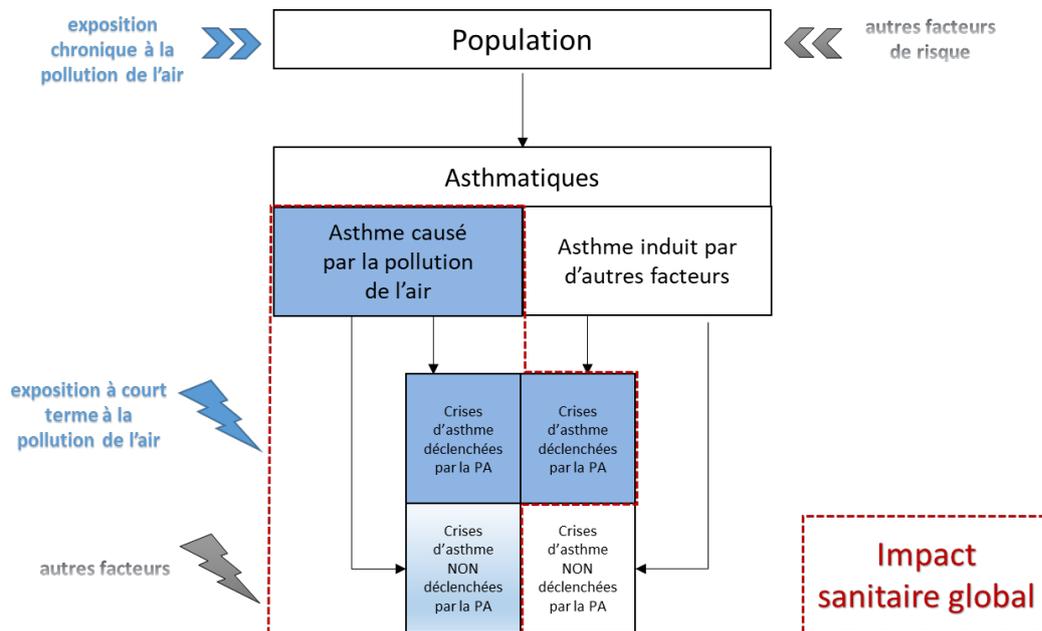
3 | METHODE

La méthode mise en œuvre suit les principes généraux de l'EQIS tels que préconisés par l'OMS et déjà appliqués en France (OMS, 2016;Pascal *et al.*, 2016). La causalité est admise par la communauté scientifique internationale entre l'exposition à la pollution atmosphérique 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, il diminue de manière proportionnelle.

Du fait de la log-linéarité de la relation entre les concentrations et la morbi-mortalité, il est admis que la baisse des niveaux de polluants atmosphériques entraine proportionnellement une baisse de la mortalité et de la morbidité enregistrées pour la zone d'étude et la période considérée.

Par ailleurs, la méthode mise en œuvre constitue une extension de la méthode développée dans le cadre du projet européen APHEKOM pour évaluer l'impact sanitaire du trafic routier (Perez *et al.*, 2013;Chanel *et al.*, 2015). La particularité de cette méthode est d'évaluer d'une part, l'impact à long terme d'une modification des concentrations des polluants atmosphériques sur la survenue de décès et de pathologies chroniques, et d'autre part, l'impact global d'une modification de l'exposition aux polluants du trafic sur les exacerbations de ces pathologies. Ce dernier intègre à la fois l'effet « déclencheur » de la pollution et la part des exacerbations de maladie chronique attribuable à la pollution (Figure 1).

Figure 1. EQIS prenant en compte la responsabilité de la pollution de l'air dans la survenue de pathologies chroniques et l'exacerbation des symptômes, exemple de l'asthme d'après (Chanel *et al.*, 2015)



3.1 Zone d'étude et scénarios de mise en œuvre évalués

3.1.1 Zone d'étude

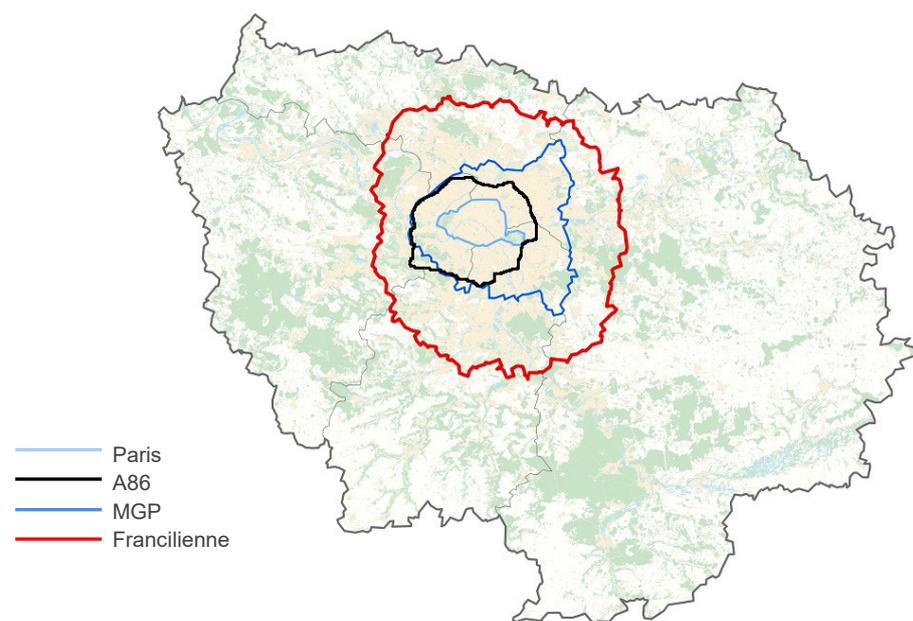
La zone d'étude s'étend au-delà du périmètre de la ZFE afin de tenir compte des impacts en dehors de la zone de restriction.

Afin de tenir compte des impacts au-delà du périmètre de mise en œuvre du dispositif (Paris ou Intra A86), la zone d'étude s'étend au-delà des deux périmètres de ZFE envisagés, jusqu'aux contours de la Francilienne, ce qui représente environ 80% de la population d'Île-de-France.

Les impacts sont estimés pour la zone d'étude (périmètre rouge sur la Figure 2) et sont détaillés pour les trois sous-périmètres géographiques décrits ci-dessous et dont la liste des communes constitutives est présentée en Annexe 1 (Tableau 36) :

- Commune de Paris (périphérique inclus) (en bleu ciel) ;
- Ensemble des communes situées à l'intérieur de l'A86 (périmètre d'une ZFE élargie), s'agissant des communes traversées par l'A86, ces dernières ont été incluses dans ce périmètre si au moins 50 % de la population communale résident à l'intérieur (périmètre en noir) ;
- Métropole du grand Paris (MGP) (périmètre en bleu marine). Afin de ne pas induire de doubles comptes, ce périmètre inclut les deux communes des Yvelines n'appartenant pas à la MGP mais située à l'intérieur de l'A86.

Figure 2. Délimitation et découpages de la zone d'étude



3.1.2 Scénarios évalués

Dans le cadre de cette étude, seules les étapes 3 et 4 de mise en œuvre d'une ZFE sur deux périmètres d'interdiction telles que décrites dans le Tableau 1, ont été évaluées en matière de bénéfices sanitaires attendus. Ainsi quatre scénarios ont été étudiés dans le cadre de ce travail tel que résumé dans le tableau ci-dessous (Tableau 2).

Tableau 2. Scénarios étudiés dans le cadre de l'évaluation quantitative des bénéfices sanitaires attendus et scénarios de référence (fil de l'eau)

Etapes	Périmètre d'interdiction	Nom du scénario	Scénario de référence (fil de l'eau)
Etape 3	Paris*	ZFE3	FDE 2018
	Autoroute A86**	ZFE ^{élargie} 3	FDE 2018
Etape 4	Paris*	ZFE4	FDE 2019
	Autoroute A86**	ZFE ^{élargie} 4	FDE 2019

*avec boulevard périphérique¹ ** hors autoroute A86

Pour chaque scénario de ZFE, l'estimation des impacts est faite par comparaison au scénario « fil de l'eau » mentionné dans le tableau ci-dessus.

3.2 Estimation de l'exposition de la population aux modifications attendues sur les concentrations en polluants de l'air

3.2.1 Estimation des modifications attendues sur la qualité de l'air pour les différents scénarios

Dans un premier temps l'impact de la mise en œuvre des scénarios de ZFE sur les émissions de polluants a été évalué en s'appuyant sur des outils de modélisation des émissions du trafic routier utilisés par Airparif. Cette évaluation repose sur la connaissance du trafic routier à toute heure de la journée, des vitesses associées ainsi que du parc roulant et technologique pour les différents scénarios considérés.

Dans un deuxième temps, l'impact sur les concentrations est évalué grâce à des outils de modélisation déterministe intégrant à la fois les niveaux en fond (modèle eulérien CHIMERE) et en proximité, en zone d'influence du trafic routier (modèle gaussien ADMS-Urban). Ainsi, cette approche distingue les impacts sur les niveaux de fond et de proximité (Airparif, 2018).

Les scénarios « fil de l'eau » s'appuient sur les niveaux de polluants déterminés selon une évolution progressive et linéaire entre ceux mesurés en 2016 et ceux modélisés dans le cadre de l'évaluation prospective réalisée pour le PPA francilien (Airparif, 2017). Ces modélisations s'appuient sur les données d'activité et les facteurs d'émission projetés à l'horizon 2020. Les scénarios « fil de l'eau » utilisés pour les étapes 3 et 4 n'intègrent pas les étapes ZFE précédentes.

¹ Pour les scénarios étudiés, la ZFE intègre le boulevard périphérique, c'est-à-dire que les véhicules circulant sur le périphérique sont concernés par la restriction de circulation. Par rapport aux modalités prévues de mise en œuvre de la ZFE parisienne, ceci a pour conséquence de surévaluer les phénomènes de report de trafic en dehors de Paris, et de surévaluer les gains d'émissions sur le boulevard périphérique.

Ces évaluations se basent sur les outils et les données disponibles au moment où elles ont été réalisées et reposent sur un certain nombre d'hypothèses simplificatrices. L'ensemble de ces éléments est détaillé dans un rapport publié en mai 2018 (Airparif, 2018). Le dispositif est supposé être effectif de manière immédiate et le taux de respect de la mesure est supposé égal à 100 %.

3.2.2 Données de population

Ces estimations ont été effectuées à partir des données du recensement de la population de l'Insee répartie au bâtiment, telles que décrites dans l'Encadré 1.

Encadré 1 . Ventilation de la population des ménages sur les zones d'habitat du mode d'occupation des sols (Mos) d'Île-de-France au bâtiment

Cette ventilation a été obtenue à partir du croisement des trois données géographiques suivantes : les données de population du recensement 2012 de l'Insee à l'Iris ; la couche des bâtiments de la BD-Topo (2011) qui apportent une information précise sur la localisation du bâti et sa superficie ; enfin le mode Mos datant de 2012 qui renseigne sur la destination du bâti (habitat individuel ou collectif, activité etc...). La population d'un îlot de recensement a été affectée à la surface au plancher des bâtiments habitables (relative au nombre d'étages) en fonction des densités moyennes connues et du type d'habitat concerné.

(Sources : IAU IdF, Insee RP 2012, IGN BD Topo)

Afin de réaliser des analyses selon les caractéristiques de la population telles que le niveau socio-économique ou encore l'âge, ces estimations ont été réalisées pour ces sous-groupes de population. Ces caractéristiques n'étant pas directement disponibles au bâti, une transposition des données a été nécessaire.

Pour ce faire, deux autres sources de données ont été utilisées : les données du RP 2012 (Insee) à l'Iris et les données issues d'une exploitation spécifique des fichiers fiscaux (Insee) carroyée à 200 m (cf. description en Annexe 3). Les caractéristiques des trois sources de données précitées sont décrites dans le Tableau 3.

Tableau 3. Description des différentes sources de données utilisées pour l'estimation des effectifs de population exposée (effectifs pour Paris)

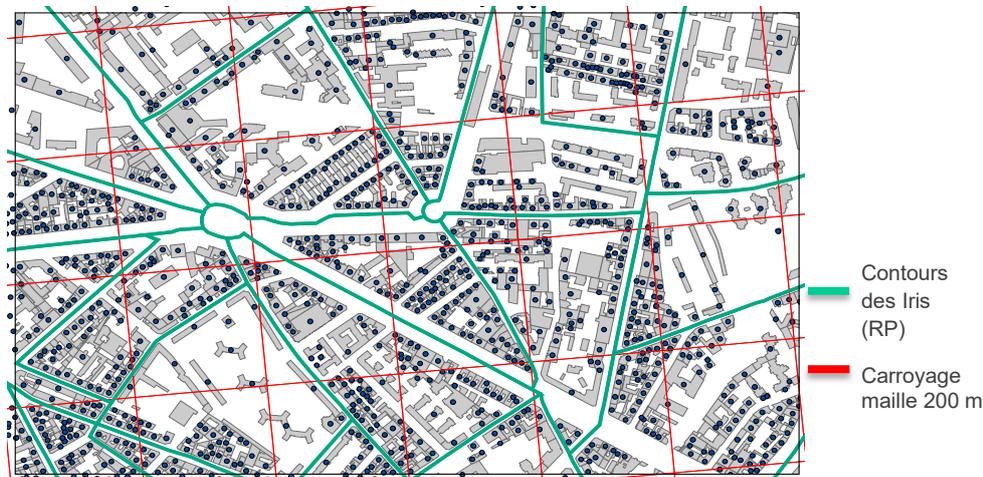
	Population au bâtiment	Recensement de la population à l'Iris	Carroyage maille 200 m
Dernière année disponible	2012	2012	Fin 2010
Nombre de mailles à Paris	88 480 (bâtiments)	992 (Iris)	1 940 (carreaux)
Population	Population des ménages	Population recensée	Populations référencées à la taxe d'habitation
Effectifs (Paris)	2 192 881	2 240 621	2 178 493 ^a
Exclusions	personnes vivant en communauté ^b	aucun	personnes vivant en communauté ^b
Variables	Population des ménages de l'Insee 2012 ; surface plancher, nb d'étages, densité de plancher	Toutes les données du recensement	18 variables (structure par âge, caractéristiques des ménages, revenus)

^a carreaux limitrophes non compris (2199 mailles vs 1940), population = 2 317 367

^b foyers de travailleurs, maisons de retraite, résidences universitaires, maisons de détention...

Pour des questions de simplification des croisements de couche géographique de données, l'effectif de population au bâtiment est affecté à son centroïde. La Figure 3 illustre les différents découpages et la manière dont ils se superposent.

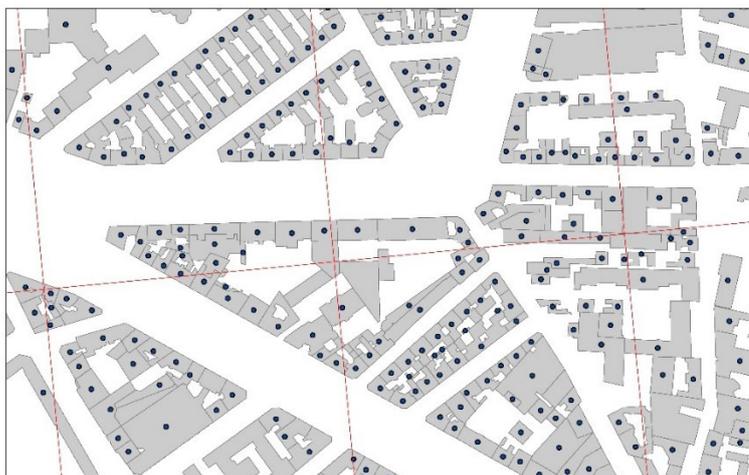
Figure 3. Superposition des différentes "grilles" de population (population au centroïde du bâtiment (points bleus), Iris (RP) et carroyage maille 200)



La transposition des données a été effectuée en respectant les étapes suivantes :

1. Pour chaque maille 200 ou chaque Iris, la proportion de chaque catégorie de population est calculée. La Figure 4 illustre l'opération pour l'utilisation du carroyage maille 200 m.

Figure 4. Superposition de la population au centroïde des bâtiments et du carroyage maille 200 m (zoom sur un quartier du 12° arr. de Paris)



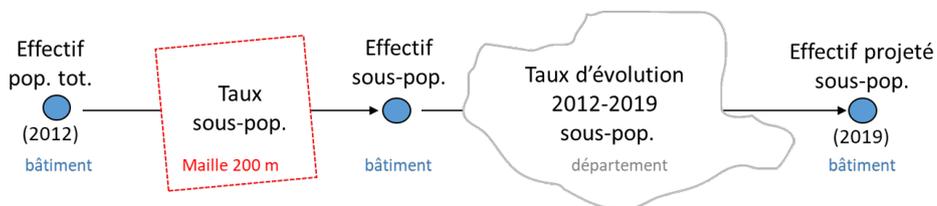
2. Cette proportion est appliquée à l'effectif de chaque point afin d'estimer les effectifs de chaque sous-catégorie de population.

Enfin, dans le cas d'une EQIS prédictive telle qu'envisagée ici, il est nécessaire de considérer les évolutions démographiques. Des tendances ont été estimées par l'IAU Île-de-France pour les départements franciliens à partir des projections démographiques produites par l'Insee (2016) (voir précisions en Annexe 4). Ces évolutions sont disponibles au département et par âge et ont permis d'estimer des taux d'évolution par catégorie d'âges d'intérêt entre 2012 et 2018 et entre 2012 et 2019 (présentés en Annexe 4

(Tableau 47 et Tableau 48)). Ces taux sont appliqués aux effectifs obtenus pour obtenir leur projection en 2018 et 2019. Les projections démographiques basées sur un scénario tendanciel seront utilisées pour l'analyse principale du calcul d'impact. Celles basées sur un scénario volontariste seront intégrées dans une analyse de sensibilité (cf. § 5.2).

La figure suivante (Figure 5) décrit schématiquement les étapes de transposition des données.

Figure 5. Représentation schématique de la transposition des données

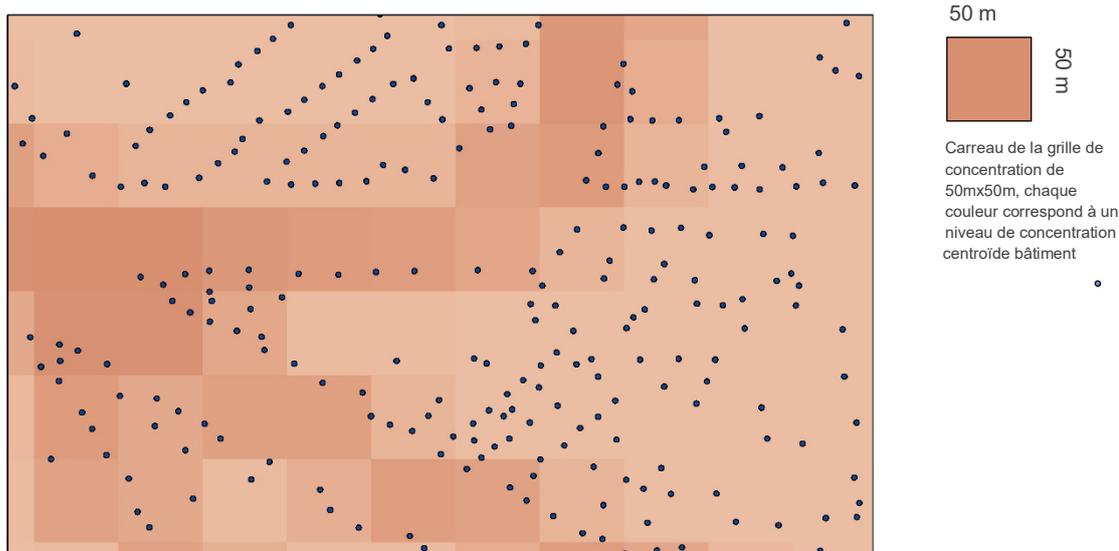


3.2.3 Estimation de la population exposée

Les effectifs de population soumis aux différentes modifications de niveaux de polluants ont été estimés grâce à un croisement des données géo-référencées de pollution et de population : couches géographiques de population totale et par sous-catégories (effectifs au bâtiment) croisées avec la grille (50 x 50 m) de niveaux d'évolution des concentrations en polluants.

Ce croisement permet d'affecter à chaque point (centroïde des bâtiments), la valeur de concentration (et donc de modification de concentration du fait de la mise en œuvre d'une ZFE) de la maille dans laquelle il se situe comme l'illustre la Figure 6. La position du centroïde de la maille définit son appartenance à la zone d'étude. Ainsi une maille se situant à cheval sur deux zones d'étude, ne sera comptabilisée qu'une fois. La distribution de la modification de l'exposition au sein de la population est obtenue en faisant la somme des effectifs des points affectés à la même valeur, pour chaque niveau de modification de la concentration.

Figure 6. Croisement de la population résidente au centroïde du bâti avec la grille de delta de concentration en NO₂ à 50 m (zoom quartier Paris 12^e)



3.3 Effets sanitaires et sous-populations envisagés, choix des relations concentration-risque

Les indicateurs envisagés pour l'analyse sont présentés dans le Tableau 4. Ces indicateurs ont été sélectionnés sur la base des recommandations du rapport HRAPIE (Health Risks of Air Pollution in Europe) de l'OMS (OMS, 2013) et des études épidémiologiques plus récentes établissant un lien de nature causale entre exposition à la pollution atmosphérique et effets sur la santé.

Tableau 4. Indicateurs sanitaires envisagés pour l'évaluation quantitative d'impact sanitaire (EQIS)

	Risque chronique (effets à long terme)	Exacerbations (effets à court terme)
Mortalité	Survenue de décès Gains d'espérance de vie	-
Périnatalité	Petit poids de naissance	-
Maladies cardiaques	Survenue de nouveaux cas	Hospitalisations
Asthme	Survenue de nouveaux cas	Recours aux urgences

Une relation concentration-risque (C-R) doit être sélectionnée pour chaque indicateur dont la définition pourra être affinée.

Un travail de mise à jour des relations retenues dans le cadre d'APHEKOM a été nécessaire, notamment, afin de prendre en compte les résultats les plus récents. Par ailleurs, s'agissant des risques liés aux expositions chroniques, la méthode était basée sur l'utilisation de relations C-R établies en fonction de la distance à l'axe routier. C'est ainsi qu'elle avait été appliquée à l'agglomération parisienne dans le cadre du programme Erpurs¹ (Host *et al.*, 2012). Or, dans le cas de cette nouvelle évaluation, l'exposition est estimée à partir des niveaux de polluant (voir § 3.2.1). Ainsi, un travail de sélection de relations C-R estimées à partir de niveaux d'exposition individuelle aux indicateurs PM_{2,5} et NO₂ a été nécessaire.

Dans la mesure où elles étaient disponibles, les relations C-R estimées à partir des expositions au NO₂ ont été privilégiées. En effet, cet indicateur d'exposition constitue un bon traceur des émissions liées au trafic routier et présente une meilleure sensibilité que l'indicateur PM_{2,5} pour évaluer l'impact de la mesure. Toutefois, à des fins d'analyses de sensibilité, lorsque cela était possible, les impacts ont été également estimés à partir des niveaux de PM_{2,5} dont les effets sanitaires sont plus largement documentés (voir 5.1).

Le choix de ces relations vise à obtenir la meilleure adéquation possible entre les données utilisées pour l'EQIS (population, indicateurs environnementaux, indicateurs sanitaires) et celles utilisées dans les études épidémiologiques ayant permis de les estimer. Ainsi, la revue de la littérature s'est focalisée sur les résultats basés sur des populations françaises et/ou européennes.

Le NO₂ constitue un bon traceur des émissions liées au trafic routier et présente une meilleure sensibilité que les PM_{2,5} pour évaluer l'impact de la mesure ZFE qui cible cette source.

La meilleure adéquation possible doit être recherchée entre les caractéristiques de la population et de la pollution de la zone concernée par le dispositif et celles des études ayant fourni les relations C-R utilisées.

¹ Le programme Erpurs (Évaluation des risques de la pollution urbaine sur la santé), mis en place dès le début des années 90 par l'Observatoire régional de santé Île-de-France, est un programme pérenne d'estimations des risques et des impacts sanitaires engendrés par les expositions de la population francilienne aux polluants atmosphériques (Host *et al.*, 2014).

S'agissant des risques à long terme, les publications issues du programme européen ESCAPE (*European Study of Cohorts for Air Pollution Effects*) (Encadré 2), ont été examinées en priorité, à côté d'autres publications identifiées grâce à une recherche dans PUBMED pour le risque de survenue d'asthme¹.

Encadré 2 . Le projet européen ESCAPE

ESCAPE (Etudes de cohortes européennes sur les effets de la pollution atmosphérique) est un projet qui, de 2008 à 2012, a rassemblé des chercheurs de 24 universités et instituts autour de l'investigation des effets à long terme sur la santé humaine de l'exposition à la pollution atmosphérique en Europe. En particulier, ont été étudiés la santé périnatale et le développement des maladies respiratoires et allergiques (asthme) chez l'enfant, les pathologies respiratoires et cardiovasculaires chez l'adulte, l'incidence du cancer et la mortalité. Le projet ESCAPE a ainsi inclus les données de plusieurs cohortes dans différents pays européens. Le nombre de cohorte et les pays considérés sont variables en fonction de l'indicateur sanitaire et de la population étudiés. Le principe est le même pour chaque question étudiée. Chaque cohorte a été analysée séparément avec une description précise des méthodes de recueil des données environnementales et démographiques uniformisées ainsi que des méthodes statistiques utilisées. Ensuite, une méta-analyse a été réalisée pour une analyse globale de l'ensemble des données.

Pour ce qui est des risques sur les exacerbations, des recherches spécifiques ont été également effectuées dans le moteur de recherche PUBMED². Plusieurs publications ont été ainsi identifiées, en particulier des méta-analyses (voir encadré), elles-mêmes basées sur un travail rigoureux de sélection des études (Mustafic *et al.*, 2012; Atkinson *et al.*, 2015; Luo *et al.*, 2015; Zheng *et al.*, 2015; Cai *et al.*, 2016; Khreis *et al.*, 2016; Lim *et al.*, 2016). Les études pertinentes, c'est-à-dire répondant à nos critères géographiques, ont été identifiées par ce biais en vue d'établir une relation C-R franco-européenne. Les résultats des travaux menés dans le cadre du programme Erpurs (non publiés) ont également été considérés (Host *et al.*, 2014).

¹ Détail de la requête : (air pollution [MeSH Terms] OR traffic) AND asthma [title] AND cohort AND (birth OR children) AND (development [title] OR incidence [title] OR prevalence [title]) NOT indoor [title]

² Détail de la requête :

- pour les recours aux urgences pour asthme : (air pollution [MeSH Terms] OR PM [title] OR NO2 [title]) AND (asthma [title] OR respiratory [title]) AND (children OR pediatric) AND (short term [title] OR hospitalization [title] OR emergency [title] OR "hospital admission") AND ("2010"[Date - Publication] : "3000"[Date - Publication])
- pour les hospitalisations pour pathologie cardiaques : (air pollution [MeSH Terms] OR PM [title] OR NO2 [title]) AND (coronary OR myocardial OR ischemic) AND (short term [title] OR hospitalization [title] OR emergency [title] OR "hospital admission" OR acute) AND ("2010"[Date - Publication] : "3000"[Date - Publication])

Encadré 3 . Définition d'une méta-analyse

Une méta-analyse consiste à synthétiser les résultats de plusieurs études sur une même problématique pour obtenir une estimation plus précise et fiable de l'effet du facteur considéré, ici l'exposition à la pollution atmosphérique, sur le risque de maladie. L'unité d'analyse n'est donc plus l'individu, mais une étude elle-même. Cette approche peut permettre de discuter l'homogénéité des études sur une relation donnée. Elle s'avère particulièrement utile dans le cas de niveaux de risque faible comme c'est le cas de la pollution atmosphérique. C'est une forme standardisée de synthèse de la littérature scientifique sur une problématique, qui est plus formalisée que la simple revue de la littérature. Sur le principe, la relation C-R issue de la méta-analyse peut être interprétée comme une moyenne pondérée des relations C-R issues de chaque étude individuelle, le poids donné à chaque étude dépendant de sa précision.

3.3.1 Risques liés à l'exposition chronique

Risque de décès toutes causes non accidentelles

Le risque retenu pour l'analyse principale est le risque estimé dans l'étude ESCAPE (Encadré 2) (Beelen *et al.*, 2014). Pour l'analyse de sensibilité est retenu celui dérivé de la méta-analyse des relations C-R issus d'ESCAPE et de Gazel-Air appliqué dans le cadre de l'analyse des gains en santé de plusieurs scénarios d'amélioration de la qualité de l'air en France continentale (Bentayeb *et al.*, 2015) (Tableau 5). Ces études portent sur des participants âgés de plus de 30 ans.

Tableau 5. Relations C-R retenues pour l'évaluation du risque de survenue de décès

Indicateurs	RR (IC 95 %)	Incrément	Référence
Décès (>30 ans) toutes causes non accidentelles	1,01 [0,99 ; 1,03]	10 µg/m ³ de NO ₂	(Beelen <i>et al.</i> , 2014)
Décès (>30 ans) toutes causes non accidentelles	1,15 [1,05 ; 1,25]	10 µg/m ³ de PM _{2,5}	(Bentayeb <i>et al.</i> 2015)

Risque périnatal

Les risques retenus pour l'analyse est le risque de faible poids de naissance (<2500 g) à terme (>37 SA¹) établi par Pedersen *et al.* (Pedersen *et al.*, 2013) à partir d'une méta-analyse issue du projet européen ESCAPE (Tableau 6). Cette étude concernait 50 000 naissances dans des agglomérations européennes, dont Nancy et Poitiers pour la France, et s'appuyait sur un modèle d'exposition avec une résolution spatiale fine.

Tableau 6. Relation C-R retenues pour l'évaluation du risque de faible poids de naissance (à terme)

Indicateurs	RR (IC 95 %)	Unité	
Faible poids de naissance (à terme)	1,09 [1,00 ; 1,19]	10 µg/m ³ de NO ₂	(Pedersen <i>et al.</i> , 2013)
	1,39 [1,12 ; 1,77]	10 µg/m ³ de PM _{2,5}	

¹ SA : semaines d'aménorrhée

Risque de survenue de nouveaux cas d'asthme chez l'enfant

Le risque retenu pour l'analyse a été obtenu à partir d'une méta-analyse des études les plus pertinentes identifiées dans la littérature scientifique et est présenté ci-dessous (Tableau 7). La description détaillée des études utilisées et les risques individuels utilisés pour ce calcul figurent en Annexe 2 (Tableau 37 et Tableau 38). Aucune étude ne mentionne de relation estimée à partir des PM_{2,5}.

Tableau 7. Relation C-R retenues pour l'évaluation du risque de survenue de nouveaux cas d'asthme chez l'enfant

Indicateurs	RR (IC 95 %)	Unité	Référence
Nouveau cas d'asthme	1,054 [1,013 ; 1,097]	10 µg/m ³ de NO ₂	Méta-analyse

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

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

L'exposition est évaluée dans la première année de vie et la durée du suivi varie entre 4 et 16 ans. En tenant compte des données de population disponibles à fine échelle et afin d'englober au mieux cette amplitude d'âges, la tranche d'âge retenue est comprise entre 0 et 17 ans.

Risque de survenue de cardiopathie ischémique chez l'adulte

Les risques retenus pour l'analyse, issus de l'étude ESCAPE, ont été estimés par Cesaroni et al. (Tableau 8). La description des cohortes utilisées figure en Annexe 2 (Tableau 39).

Tableau 8. Relations C-R du risque de survenue de cardiopathie ischémique chez les adultes

Indicateurs	RR (IC 95 %)	Unité	Référence
Nouveau cas de cardiopathie ischémique	1,03 [0,97 ; 1,08]	10 µg/m ³ de NO ₂	ESCAPE (Cesaroni <i>et al.</i> , 2014)
	1,13 [0,98 ; 1,30]	5 µg/m ³ de PM _{2,5}	

Hormis pour l'une des cohortes, l'âge ne constituait pas un critère d'inclusion et les distributions des âges au sein des différentes cohortes étaient variables. En première intention, nous avons choisi de baser la définition de la population d'étude sur celle utilisée par les registres des cardiopathies ischémiques opérés en France (il en existe trois, un couvrant la population de la communauté urbaine de Lille, un deuxième couvrant la population du département du Bas-Rhin et le troisième la population du département de Haute-Garonne). Ces registres enregistrent les cas pour la tranche d'âge comprise entre 35 et 74 ans. Toutefois, nous avons dû ajuster cette tranche d'âge du fait de la contrainte de disponibilité des données de population à fine échelle par âge. Ainsi, la tranche d'âge retenue est comprise entre 40 et 74 ans.

3.3.2 Risques d'exacerbations liés à l'exposition à court terme

Risque de recours aux urgences pour asthme chez l'enfant

Les relations C-R de recours aux urgences pour asthme chez l'enfant retenues résultent d'une méta-analyse des études les plus pertinentes identifiées dans la littérature scientifique pour chaque polluant indicateur (Tableau 9). La description détaillée des études utilisées et les risques individuels figurent en Annexe 2 (Tableau 41 et Tableau 42).

Tableau 9. Relations C-R du risque de recours aux urgences chez les enfants

Indicateurs	RR (IC 95 %)	Unité	Référence
Recours aux urgences pour asthme	1,0101 [0,9977 ; 1,0227]	10 µg/m ³ de NO ₂	Méta-analyse
	1,098 [1,012 ; 1,19]	10 µg/m ³ de PM _{2,5}	

Ces risques seront appliqués à la même tranche d'âge que celle définie pour le risque chronique de survenue de cas d'asthme, soit 0-17 ans.

Risque d'hospitalisation pour cardiopathie ischémique chez l'adulte

Les relations C-R d'hospitalisation pour cardiopathie ischémique chez l'adulte retenues résultent d'une méta-analyse des études les plus pertinentes identifiées dans la littérature scientifique (Tableau 10). La description détaillée des études utilisées et les risques individuels figurent en Annexe 2 (Tableau 44 et Tableau 45).

Tableau 10. Relations C-R du risque d'hospitalisation pour cardiopathie ischémique chez l'adulte

Indicateurs	RR (IC 95 %)	Unité	Référence
Hospitalisation pour cardiopathie ischémique	1,013 [1,0078;1,0183]	10 µg/m ³ de NO ₂	Méta-analyse
	1,012 [0,998 ; 1,027]	10 µg/m ³ de PM _{2,5}	

Ce risque sera appliqué à la même tranche d'âge que celle définie pour le risque chronique de survenue de cardiopathie ischémique, soit 40-74 ans.

3.4 Définition des indicateurs sanitaires et recueil des données

3.4.1 Nombre de décès

Les données concernant les nombres de décès toutes causes ont été obtenues auprès du CépiDC (Inserm).

Les statistiques concernant le nombre de décès sont établies à partir du certificat de décès. Rempli obligatoirement par un médecin, il comporte des renseignements sur l'âge, l'adresse du défunt et les causes principales et immédiates du décès. Le codage des causes de décès est réalisé d'après la classification internationale des maladies (révision CIM10), sous contrôle médical et de façon centralisée afin d'assurer l'homogénéité du traitement statistique. Ainsi, le nombre de décès annuels de personnes âgées de 30 ans et plus, domiciliées dans la zone considérée est construit pour toutes les causes non accidentelles (codes CIM10 : A00-R99). Par ailleurs, afin d'estimer les gains d'espérance de vie, ces données ont également été collectées par classe d'âge de 5 ans. L'ensemble de ces données est disponible à la commune.

Le nombre annuel de décès à la commune et par classe d'âge, est lissé sur trois ans de données afin de s'affranchir des fluctuations dues à des circonstances exceptionnelles telles qu'une épidémie de grippe d'ampleur importante ou un épisode de canicule marqué. Les trois années de référence considérées sont les suivantes : 2011, 2012, 2013.

Afin d'estimer les nombres de décès attendus en 2018 et 2019, des taux de mortalité sont estimés par tranche d'âge quinquennale¹ et appliqués à la population de 2018 et 2019, en faisant l'hypothèse d'un taux constant. En revanche, ces projections ne sont pas utilisées pour les calculs d'espérance de vie afin de ne pas fausser l'estimation.

3.4.2 Nombre de naissances de petit poids

Le nombre de naissances caractérisées par un petit poids de naissance à terme, correspondant à un poids de moins de 2 500 g pour une naissance après 37 semaines de gestation (semaines d'aménorrhée) est obtenu auprès du réseau Périnat-ARS-IDF. L'effectif de ces naissances, domiciliées dans le département, est construit à partir du PMSI. Cette source de données offre une bonne exhaustivité car les informations concernant le terme de la grossesse et le poids de naissance sont obligatoirement renseignées. L'effectif est estimé pour l'année 2016.

3.4.3 Nouveaux cas de cardiopathies ischémiques

Dans l'étude d'où la relation C-R sélectionnée est issue (Cesaroni *et al.*, 2014), les nouveaux cas de cardiopathies ischémiques sont définis comme suit :

- hospitalisation pour un diagnostic principal de syndrome coronaire aigu, ce qui correspond aux codes CIM-10 I20.0, I21, I23, et I24².
- décès (hors hôpital) pour cardiopathie ischémique (CIM-A0 I20-I25) si l'individu n'avait pas été admis à l'hôpital pour cardiopathie ischémique dans les 28 jours précédents le décès, ni dans les deux jours précédents pour une autre cause.

En cas d'antécédent de syndrome coronaire aigu ou cérébrovasculaire aigu, le cas répondant à une de ces deux conditions était toutefois exclus.

Afin d'approcher au mieux cet indicateur et en l'absence de données en population générale, l'estimation du nombre de nouveaux cas s'est faite uniquement à partir des données d'hospitalisation, recueillies dans le Sniiram (voir Encadré 4).

Les critères de définition (cf. Figure 8) des cas pour l'estimation d'un nombre annuel de nouveaux cas par commune au sein des huit départements franciliens (75, 92, 93, 94, 77, 78, 91, 95), sont les suivants :

- première admission pour diagnostic principal (DP) du RSA correspondant aux codes CIM-10 I20.0, I21, I23, et I24 (exclusion des cas avec antécédents dans les 10 années précédentes)
- âge compris entre 40 et 74 ans inclus
- domicilié dans la commune
- année de référence : 2016

¹ 0-14 ; 15-19 ; 20-24 ; 25-29 ; 30-34 ; 35-39 ; 40-44 ; 45-49 ; 50-54 ; 55-59 ; 60-64 ; 65-69 ; 70-74 ; 75-79 ; 80-84 ; 85 et +

² I20.0 : angine de poitrine ; I21.0 : infarctus du myocarde à répétition ; I23.0 : certaines complications récentes d'un infarctus aigu du myocarde ; I24.0 : autres cardiopathies ischémiques aiguës

Encadré 4 . Système d'information inter-régimes de l'assurance maladie (SNIIRAM)

Le Sniiram est une base de données nationale regroupant :

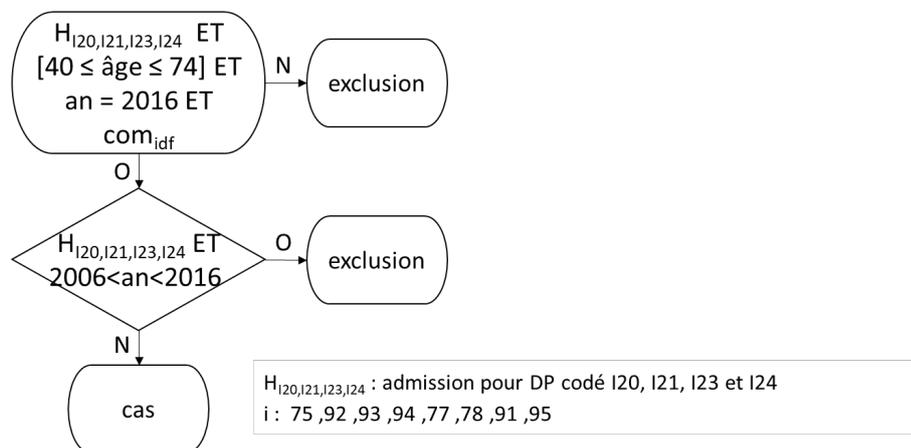
- des données sur les patients telles que sexe, âge, bénéfice de la couverture maladie universelle complémentaire (CMU-C), commune et département de résidence, diagnostic d'affection de longue durée (codes CIM10), date et cause de décès ;
- toutes les prestations remboursées dans le cadre des soins réalisés en médecine de ville : informations sur le prestataire de soins ou le prescripteur, médicaments et dispositifs médicaux délivrés, actes techniques des médecins et prélèvements biologiques effectués, date des soins ;
- des données sur la consommation de soins en établissement (données du PMSI, codes CIM10).

Des taux sont estimés par rapport à la population communale de 2014, dernière année disponible (Insee RP 2014). Afin d'estimer les nombres attendus en 2019, ces taux sont appliqués à la population de 2019, en faisant l'hypothèse d'un taux constant selon la formule suivante :

$$N_{2019} = \frac{N_{2016}}{Pop_{2014}} \times Pop_{2019}$$

N_{2016} est le nombre de nouveaux cas estimés en 2016 pour la catégorie d'âge considérée, Pop_{2014} et Pop_{2019} correspondent à l'effectif de population pour l'année et la catégorie d'âge considérées. La même formule est utilisée pour l'estimation des nombres attendus en 2018 en utilisant les projections de population correspondantes.

Figure 7. Logigramme de définition des nouveaux cas de cardiopathie ischémique



3.4.4 Nouveaux cas de mise sous traitement antiasthmatique

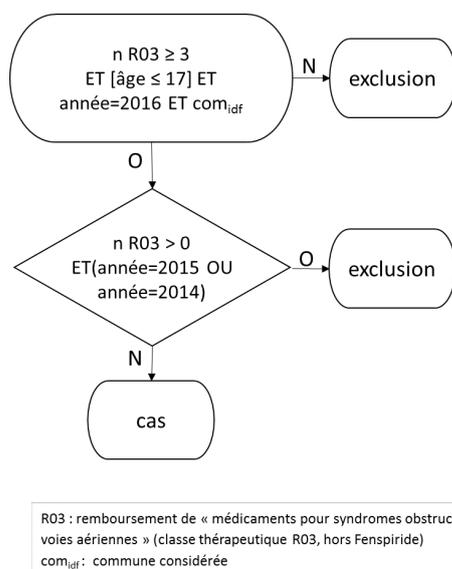
Les nouveaux cas d'asthme sont approchés par les mises sous traitement antiasthmatique, déterminés à partir des données de remboursements des médicaments.

Les critères de définition des cas (cf. Figure 8) pour l'estimation d'un nombre annuel de cas par commune, pour les 8 départements franciliens (75, 92, 93, 94, 77, 78, 91, 95), selon la stratégie suivante :

- ≥ 3 dates de délivrance d'un médicament de la classe ATC R03 (hors Fenspiride) dans l'année
- pas d'antécédents de traitement par un médicament de la classe ATC R03 dans les 2 années précédentes
- domicilié dans la commune
- âge compris entre 0 et 17 ans inclus
- années de référence : 2016

Des taux sont estimés par rapport à la population communale de 2014, dernière année disponible (Insee RP 2014). Afin d'estimer les nombres attendus en 2018 et 2019, ces taux sont appliqués à la population de 2019, en faisant l'hypothèse d'un taux constant.

Figure 8. Logigramme de définition des nouveaux cas de mise sous traitement antiasthmatique



3.4.5 Hospitalisations pour cardiopathies ischémiques

Le nombre d'hospitalisations pour cardiopathie ischémique est estimé à partir du PMSI (voir Encadré 5). Les critères de définition des cas pour l'estimation d'un nombre annuel de cas par commune, pour les huit départements franciliens (75, 92, 93, 94, 77, 78, 91, 95) sont les suivants :

- admission pour diagnostic principal du RSA correspond aux codes CIM-10 I20-I25, non hospitalisé dans les 28 jours précédents (sinon considéré comme un même événement). Si, pour l'année de référence, un patient est admis plusieurs fois dans l'année, l'intervalle entre les dates d'admission, en partant de la dernière, est estimé. Si l'intervalle est supérieur à 28 jours, on compte deux cas, sinon on ne compte qu'un seul cas et ainsi de suite pour les autres admissions intervenues pour un même patient.
- âge compris entre 40 et 74 ans inclus
- domicilié dans la commune
- années de référence : 2016

Des taux sont estimés par rapport à la population communale de 2014, dernière année disponible (Insee RP 2014). Afin d'estimer les nombres attendus en 2018 et 2019, ces taux sont appliqués à la population de 2019, en faisant l'hypothèse d'un taux constant.

Encadré 5 . Programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI)

Le PMSI est un dispositif d'enregistrement des hospitalisations destiné à documenter l'activité des établissements hospitaliers et à déterminer leurs ressources financières. A visée donc avant tout médico-administrative, le PMSI recense néanmoins la quasi-totalité des hospitalisations, et enregistre des données médicales sur les causes ayant motivé un passage dans un des services de l'hôpital. Ainsi, chaque hospitalisation dans un service de médecine, chirurgie ou d'obstétrique donne lieu à un recueil standardisé d'informations enregistrées dans la base du PMSI-MCO. Au niveau des établissements de soins, chaque séjour dans une unité médicale donne lieu à la production d'un résumé d'unité médicale (RUM). Chaque RUM comprend un diagnostic principal codé en CIM-10, qui correspond au motif de prise en charge ayant motivé l'essentiel de l'effort médical et soignant au cours de l'hospitalisation dans le service. L'ensemble des RUMs donne lieu à la production d'un résumé de sortie anonyme (RSA), qui comporte lui-même un diagnostic principal et des diagnostics reliés, relatifs au séjour du patient dans l'hôpital. Le RSA, contient par ailleurs un certain nombre d'informations administratives, notamment l'âge, le sexe, le code postal de résidence du patient hospitalisé.

3.4.6 Recours aux urgences pour asthme

Les données de recours aux urgences sont obtenues via le réseau de surveillance OSCOUR® (Organisation de la surveillance coordonnée des urgences). Ce réseau regroupe des services d'urgence informatisés. Pour chaque passage aux urgences dans les services participant au réseau, des informations telles que les dates d'entrée et de sortie, les caractéristiques individuelles du patient (âge, sexe, code postal de résidence) ainsi que le diagnostic posé à l'issue de la consultation aux urgences (codé selon la classification internationale des maladies CIM-10) sont enregistrées en routine à partir du dossier médical du patient et centralisées quotidiennement à Santé publique France.

Ces données sont fournies par Santé publique France (Cire Île-de-France). Le nombre annuel moyen de passages aux urgences pour asthme (codes CIM-10 : J45, J46) des patients âgés de 0 à 17 ans domiciliés dans la zone est ainsi donné pour les huit départements franciliens pour l'année 2016. Ce nombre, rapporté à la population de la tranche d'âge permet d'estimer un taux. L'asthme est une maladie multifactorielle, ainsi de nombreux facteurs, autre que la pollution de l'air ambiant, peuvent influencer le nombre de recours pour asthme. Des politiques publiques sont mises en œuvre en vue de diminuer la prévalence de l'asthme et de ses exacerbations. En particuliers, dans le cadre du Plan régional santé environnement (2017-2021)¹, une série de mesures vise à accroître la maîtrise des facteurs environnementaux de l'asthme (renforcement du système d'alerte pour la prévention des pollinoses ; intégration de la dimension santé-environnement dans l'éducation thérapeutique du patient ; mesures relatives à la qualité de l'air intérieur). Il apparaît toutefois difficile d'estimer l'impact de ces mesures sur l'évolution du nombre de recours aux urgences. Ainsi, l'hypothèse d'un taux constant entre 2016 et 2019 est retenue. Seulement afin de tenir compte de l'évolution de la population, ce taux est appliqué aux effectifs projetés en 2018 et 2019.

¹ Consultable en ligne <http://www.ile-de-france.prse.fr/>

3.5 Méthode de calculs d'impact

3.5.1 Impact lié au risque chronique

Impact sur la mortalité, les pathologies chroniques et le petit poids de naissance

La proportion d'événements sanitaires attribuables à un niveau de pollution atmosphérique donné est calculée à partir du risque relatif associé au niveau de pollution rencontré et de la fréquence de l'exposition, selon la formule suivante :

$$FA_{\Delta \text{chron}} = \frac{p_{p\Delta} (RR_{\Delta \text{chron}} - 1)}{1 + p_{p\Delta} (RR_{\Delta \text{chron}} - 1)}$$

où $FA_{\Delta \text{chron}}$ est la fraction d'événements sanitaires attribuable à une modification du niveau du polluant considéré Δ_{exp}

$RR_{\Delta \text{chron}}$ est l'excès de risque associé au différentiel de pollution Δ_{exp} étudié, donné par la relation C-R

$p_{p\Delta}$ est la proportion de la population exposée à Δ_{exp} .

$RR_{\Delta \text{chron}}$ est calculé selon la formule suivante

$$RR_{\Delta \text{chron}} = e^{\ln(RR/\Delta_{RR}) \times \Delta_{\text{exp}}}$$

où RR est le risque relatif (relation C-R) et Δ_{RR} l'incrément pour lequel le RR est donné

Δ_{exp} est le différentiel de niveau d'exposition au polluant

Le nombre d'événements attribuables (NA_{chron}) est calculé selon la formule suivante :

$$NA_{\text{chron}} = \text{Pop}_{\text{tot}} \times \text{Prev}_{\text{chron}} \times \Sigma FA_{\Delta \text{chron}}$$

où Pop_{tot} est la population totale et $\text{Prev}_{\text{chron}}$, la prévalence de la pathologie dans cette population ($\text{Pop}_{\text{tot}} \times \text{Prev}_{\text{chron}} = N_{\text{chron}}$, soit le nombre moyen d'événements sanitaires estimés sur la période considérée).

Ce calcul est effectué pour chaque modification de niveau du polluant et chaque commune. Concernant les naissances de faible poids, le taux départemental de l'indicateur est appliqué à chaque commune. Les nombres sont ensuite agrégés pour estimer l'impact au sein de chaque périmètre d'étude.

Ce calcul est effectué pour la valeur centrale de la relation C-R et de la même manière en utilisant les bornes inférieures et supérieures de l'intervalle de confiance à 95 %.

Impact sur l'espérance de vie

L'impact 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). Pour toute baisse de pollution de Δx , la probabilité de décès est également diminuée (RR_{Δ}).

A partir de ces probabilités par classe d'âge, 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 pour les niveaux observés avant la mise en œuvre de l'intervention, et celle obtenue à partir des données de la mortalité qui serait observées aux niveaux de pollution attendus selon les différents scénarios. Le détail des équations est présenté en Annexe 5.

Ces gains sont estimés pour chaque modification de niveau du polluant et pour chaque commune et traduit en nombre total d'années de vie gagnées, soit le produit du gain en

espérance de vie à 30 ans par le nombre de personnes de 30 ans concernées. Ces nombres d'années de vie gagnées sont ensuite sommés afin d'estimer l'impact au sein de chaque périmètre d'étude. Rapportés à la population concernée, ils peuvent être traduits en gain d'espérance de vie moyen au sein du périmètre considéré.

Ce calcul est effectué pour la valeur centrale de la relation C-R et de la même manière en utilisant les bornes inférieures et supérieures de l'intervalle de confiance à 95 %.

3.5.2 Impact sur les exacerbations

Ce calcul permet d'estimer le nombre de recours aux urgences pour asthme chez 0-17 ans et le nombre d'hospitalisations pour cardiopathie ischémique chez les 40-74 liés à la modification de l'exposition à court terme à la pollution atmosphérique de fond.

Comme évoqué au § 3| (Figure 1), une part des exacerbations liées à la pollution atmosphérique est déclenchée par des facteurs autres, considérant que la pollution atmosphérique est en revanche à l'origine de la pathologie chronique sous-jacente.

Ainsi, connaissant le nombre de cas de pathologies chroniques attribuables à l'exposition à la pollution atmosphérique (ou évitables du fait d'une amélioration de la qualité de l'air), il est possible d'estimer le nombre de cas d'exacerbation additionnel. Le détail des étapes de calcul est présenté ci-après.

Ces calculs sont effectués pour chaque modification de niveau du polluant et chaque commune. Concernant les recours aux urgences, le taux départemental de l'indicateur est appliqué à chaque commune. Les nombres sont ensuite agrégés pour estimer l'impact au sein de chaque périmètre d'étude.

Ce calcul est effectué pour la valeur centrale de la relation C-R et de la même manière en utilisant les bornes inférieures et supérieures de l'intervalle de confiance à 95 %.

Calcul du nombre de cas attribuables directement à l'exposition à court terme à la pollution atmosphérique

La fraction attribuable est calculée pour chaque indicateur selon la formule décrite au § 3.5.1.1.

$$FA_{\Delta excb} = \frac{p_p (RR_{\Delta excb} - 1)}{1 + p_p (RR_{\Delta excb} - 1)}$$

où $FA_{\Delta excb}$ est la fraction d'événements sanitaires attribuable à la modification du niveau du polluant considéré Δ_{exc}

$RR_{\Delta excb}$ est l'excès de risque associé au différentiel de pollution Δ_{exp} étudié, donné par la relation C-R

p_p est la proportion de la population exposée à Δ_{exp} . Dans ce cas, il est considéré une valeur moyenne pour l'ensemble de la population de la zone géographique considérée, ainsi $P_p = 1$.

$RR_{\Delta excb}$ est calculé, comme vu précédemment selon la formule suivante

$$RR_{\Delta excb} = e^{\ln(RR / \Delta_{RR}) \times \Delta_{exc}}$$

où RR est le risque relatif (relation C-R) et Δ_{RR} l'incrément pour lequel le RR est donné

Δ_{exc} est le différentiel de niveau d'exposition au polluant

Le nombre d'événements attribuables (NA_{exc}) à un différentiel de concentration de polluant donné est calculé selon la formule suivante :

$$NA_{exc/PA} = Pop_{tot} \times Prev_{exc} \times FA_{\Delta exc}$$

où Pop_{tot} est la population totale et $Prev_{chron}$, la prévalence de la pathologie dans cette population ($Pop_{tot} \times Prev_{exc} = N_{exc}$, soit le nombre moyen d'événements sanitaires estimés sur la période et la zone géographique considérée).

Calcul du nombre de cas total

Le nombre de cas d'exacerbation additionnel, déclenchés par des facteurs autres, $NA_{exc/autre}$ est calculé selon la formule suivante :

$$NA_{exc//autre} = NA_{chron} \times Prev_{exc} \times (1 - FA_{\Delta exc})$$

où NA_{chron} est le nombre de cas de pathologie chronique lié à la modification du niveau de polluant et $Prev_{exc}$ la prévalence de survenue des exacerbations dans la population concernée qui s'obtient selon la formule suivante :

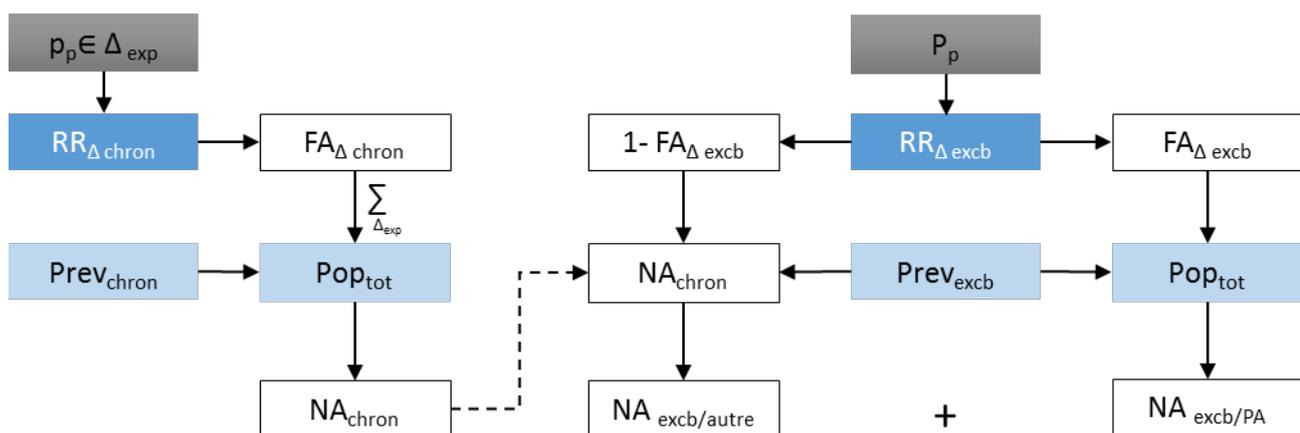
$$Prev_{exc} = \frac{N_{exc}}{Pop_{tot} \times Prev_{chron}}$$

Enfin l'impact global correspond à la somme des cas :

$$NA_{exc} = NA_{exc/PA} + NA_{exc/autre}$$

La figure ci-dessous schématise la chaîne de calcul :

Figure 9. Chaîne de calcul de l'impact sanitaire global



3.6 Analyse de l'impact différencié selon le niveau socio-économique

Cette analyse vise à comparer l'amplitude des effets du dispositif au sein de population de différents niveaux socio-économiques.

Ceci implique de caractériser le statut socio-économique de la population exposée. Différentes approches peuvent être utilisées. Trois approches ont été retenues et sont décrites ci-dessous.

Il est par ailleurs nécessaire de mettre en regard l'amplitude des effets du dispositif avec la distribution des niveaux d'exposition au sein de cette population qui eux-mêmes peuvent varier selon les différents groupes socio-économiques et selon les territoires. La distribution de ces différents groupes peut également varier selon les territoires. Cela fera également l'objet de cette analyse.

3.6.1 Choix des données et catégorisation socioéconomique

Le statut socio-économique est généralement approché au travers de trois domaines principaux : le niveau d'instruction, la situation professionnelle et les revenus (Haut Conseil de la santé publique, 2013). Il existe de nombreux indices composites construits à partir de ces dimensions matérielles et sociales et agrégés à un certain niveau géographique.

Indice de défaveur sociale FDep

L'indice de défaveur sociale appelé FDep a été développé dans le contexte français (Rey *et al.*, 2009). Il a été construit à l'échelle des communes, des cantons et des régions en utilisant les données disponibles à l'échelle des Iris sur l'ensemble du territoire (sources : le recensement de la population de 1999 (Insee) et les données de déclarations d'impôt (disponibles uniquement pour les communes de plus de 50 ménages) de 2001 (Insee-DGI). L'indice a été construit afin de respecter les propriétés suivantes : unidimensionnel, maximisant la représentation de l'hétérogénéité de ses composantes et fortement associé avec ses composantes au sein de chaque tranche d'unité urbaine (TUU). Quatre variables ont été retenues :

- le revenu médian par unité de consommation dans le ménage,
- le pourcentage de bacheliers dans la population de plus de 15 ans,
- le pourcentage d'ouvriers dans la population active,
- le pourcentage de chômeurs dans la population active.

Alors que les deux premières variables représentent une dimension négative du désavantage social, les deux dernières en représentent une dimension positive. Ces variables ont été choisies au regard de travaux précédents et représentent des dimensions fondamentales du niveau socioéconomique, comparables entre les TUU, et fortement associées entre elles au sein de chaque TUU et entre les TUU. L'indice FDep a été défini comme la première composante de l'analyse en composante principale (ACP) de ces quatre variables.

L'association entre défaveur sociale et mortalité sur la période 1997-2001 est observée quelle que soit l'échelle spatiale choisie (commune, canton, zone d'emploi, département et région) (Rey *et al.*, 2011). Cet indice est actuellement utilisé par la CNAM-TS.

Le FDep calculé à l'Iris est obtenu comme la moyenne pondérée sur la population des valeurs obtenues au niveau communal.

European deprivation index EDI

Cet indice écologique de défaveur sociale est basé sur une méthode de sélection d'une combinaison de variables disponibles à la fois au niveau individuel dans une enquête européenne spécifiquement dédiée à l'étude de la défaveur sociale et au niveau géographique dans le recensement de la population (Pornet *et al.*, 2012). L'enquête

européenne utilisée est l'étude EU-SILC (European Union – Statistics on Income and Living Conditions) ou SRCV dans sa version française (Statistiques sur revenus et conditions de vie), qui vise à collecter des données sur le revenu, la pauvreté, l'exclusion sociale et les conditions de vie. Cette étude annuelle inclut 26 pays depuis 2005. Cette approche a pour finalité de refléter au mieux l'expérience individuelle de défaveur sociale. Une fois ces variables identifiées et dichotomisées, elles sont sélectionnées et pondérées par régression logistique multivariée. Les coefficients de régression associés à ces variables dans le modèle final deviennent les poids de ces variables mesurées au niveau agrégé dans l'indice écologique. Ainsi, l'indice utilisé est basé sur les données du recensement de la population (Insee, 2001) et la liste des variables intervenant dans sa construction est la suivante :

- Surpeuplement,
- Nationalité étrangère,
- Ni cadre ni profession intermédiaire vs. toutes les autres CSP,
- Ménage d'au moins 6 personnes,
- Ni baignoire ni douche,
- Chômeur,
- Diplôme inférieur à ceux de l'enseignement supérieur,
- Sans voiture,
- Non propriétaire,
- Famille monoparentale.

Un score est obtenu pour chaque IRIS.

Seuil de bas revenu

Un indice basé sur une variable unique, disponible à la maille 200, a également été retenu. Cet indice est basé sur le « seuil de bas revenu », calculé à partir de l'enquête revenus fiscaux et sociaux (ERFS). Il correspond à 60 % de la médiane des revenus par unité de consommation (UC) avant impôt observés au niveau national. Il est de 982 € par UC et par mois en 2011. Les foyers à bas revenus sont ceux dont le revenu par UC est inférieur au seuil de bas revenus. Pour chaque maille, on dispose de la proportion de ménages à bas revenu. Les effectifs au bâtiment ont été calculés selon la méthode décrite au § 3.2.2. Une proportion d'habitants au bâtiment a été définie.

3.6.2 Périmètre de l'analyse et paramètres considérés

L'analyse a été restreinte au périmètre de la MGP (incluant les deux communes du 78 intra-A86) et a porté sur les trois indicateurs sanitaires suivants :

- Mortalité et espérance de vie,
- Nouveaux cas d'asthme chez les enfants.

Les indices Fdep et EDI ont été discrétisés en cinq catégories correspondant aux quintiles de la distribution de l'indice à l'Iris au sein du périmètre de la MGP. De même, un indice en cinq catégories a été créé à partir de la proportion d'habitants à bas revenu estimée au bâtiment en se basant sur une distribution en quintile.

Ainsi, à chaque centroïde du bâtiment correspond une valeur pour chaque indice. Les méthodes de croisement décrites précédemment (cf. § 3.2.2) s'appliquent ensuite de la même manière. Les estimations sont ensuite réalisées pour chaque catégorie en suivant les mêmes étapes de calcul que celles décrites plus haut. Les mêmes relations concentration-risque sont appliquées à chaque sous-catégorie.

Les deux indices composites décrits plus haut résultent de stratégies de construction différentes qui peuvent conduire à une distribution géographique potentiellement variable. A titre d'information, le tableau suivant, issu d'une analyse conduite par un groupe de travail du Haut Conseil en santé publique, présente les avantages et inconvénients de ces derniers (Haut Conseil de la santé publique, 2013).

Tableau 11. Avantages et inconvénients des deux indices composites retenus

Avantages et inconvénients des indicateurs	Avantages	Inconvénients
FDep	Calculé sur la France Construction comparable sur différents types d'espace et sur l'ensemble du territoire	Son calcul au niveau de l'Iris n'a pas été publié.
EDI	Part du postulat qu'il n'existe pas d'indices standardisés, mais qu'un concept comme celui de la défaveur sociale s'exprime différemment (avec des variables différentes) selon le pays.	EU-SILC pas représentatif de la population française, c'est une enquête : effectif restreint et non réponse (10 036 foyers, 24 940 individus, 19 253 âgés de 16 ans et +). Possibilité d'effectifs faibles dans les régions françaises

Source : Haut Conseil de la santé publique, 2013

Dans le cadre de cette étude, l'analyse principale des inégalités sociales sera conduite à partir de l'indice Fdep et les résultats estimés selon l'EDI et le seuil de bas revenu seront présentés en analyse de sensibilité.

4 | RESULTATS

LES POINTS ESSENTIELS

- > Des bénéfices sanitaires en matière de décès et pathologies chroniques sont attendus y compris pour les populations résidant en dehors de la zone ;
- > L'élargissement du périmètre de la ZFE à l'A86, de même que, à périmètre égal, le renforcement du niveau de restriction amplifieraient le bénéfice sanitaire attendu ;
- > Les bénéfices seraient plus importants pour la fraction de population la plus favorisée. L'élargissement du périmètre de la ZFE à l'A86 tendrait à minimiser ces écarts.

4.1 Caractéristiques de la population étudiée

Les effectifs de population des ménages pour chaque sous-catégorie sont présentés dans le Tableau 12 pour les différents périmètres étudiés.

Tableau 12. Population des ménages et taux par sous-catégorie d'âge pour chaque sous-périmètre

Périmètre	Tous âges	<1 an		[0-17] ans		≥ 30 ans		[40-74] ans	
		Eff.	Taux	Eff.	Taux	Eff.	Taux	Eff.	Taux
Paris	2 193 008	23 740	1,1%	376 283	17%	1 364 650	62%	840 266	38%
Intra-A86 (hors Paris)	2 598 769	38 495	1,5%	598 083	23%	1 568 187	60%	975 959	38%
MGP* (hors intra-A86)	2 053 114	31 924	1,6%	521 520	25%	1 190 223	58%	767 951	37%
Francilienne (hors MGP)	2 564 215	37 418	1,5%	648 270	25%	1 513 722	59%	978 499	38%
TOTAL	9 409 106	131 578	1,4%	2 144 156	23%	5 636 781	60%	3 562 675	38%

Sources : Insee RP 2012, exploitation ORS IdF

4.2 Modifications attendues des niveaux de NO₂ et exposition de la population

L'étude des impacts de la mise en œuvre d'une ZFE sur les polluants atmosphériques montre que, en parallèle des gains sur les émissions et les concentrations de plus en plus importants au fur et à mesure des étapes, le niveau d'exposition de la population est de plus en plus réduit (cf. Figure 10). L'évolution de la qualité de l'air avec la mise en œuvre de la ZFE entraîne une baisse significative du nombre d'habitants soumis aux plus fortes teneurs de dioxyde d'azote (cf. Figure 11). La 4^e étape d'une ZFE parisienne (ZFE4), pour laquelle la baisse des niveaux de NO₂ est plus importante, engendre à l'échelle annuelle une exposition de la population parisienne à des concentrations maximales de 42 µg/m³ contre 55 µg/m³ sans sa mise en œuvre (fil de l'eau). L'ensemble des Parisiens est, dans le cadre de ce scénario, soumis à des teneurs minimales de 20 µg/m³ contre 28 µg/m³ dans le cas du « fil de l'eau ». Dans le périmètre plus large de la Métropole du Grand Paris (MGP), la population profite également des baisses d'émissions du trafic routier dans le cadre d'une ZFE parisienne mais plus encore avec une ZFE élargie à l'intra-A86. Plus l'interdiction concerne de véhicules et plus les bénéfices au sein de la MGP sont favorables comparativement à une ZFE uniquement parisienne.

La mise en œuvre de la ZFE entraîne une baisse significative du nombre d'habitants soumis aux plus fortes teneurs de dioxyde d'azote.

Figure 10. Cartographies des niveaux annuels de NO₂ dans le périmètre de la MGP pour le « fil de l'eau » 2018 et 2019 (à gauche) et pour les deux étapes d'une ZFE parisienne et élargie à l'intra A86 (au centre) et différences de concentrations entre le scénario ZFE et le « fil de l'eau » (à droite)

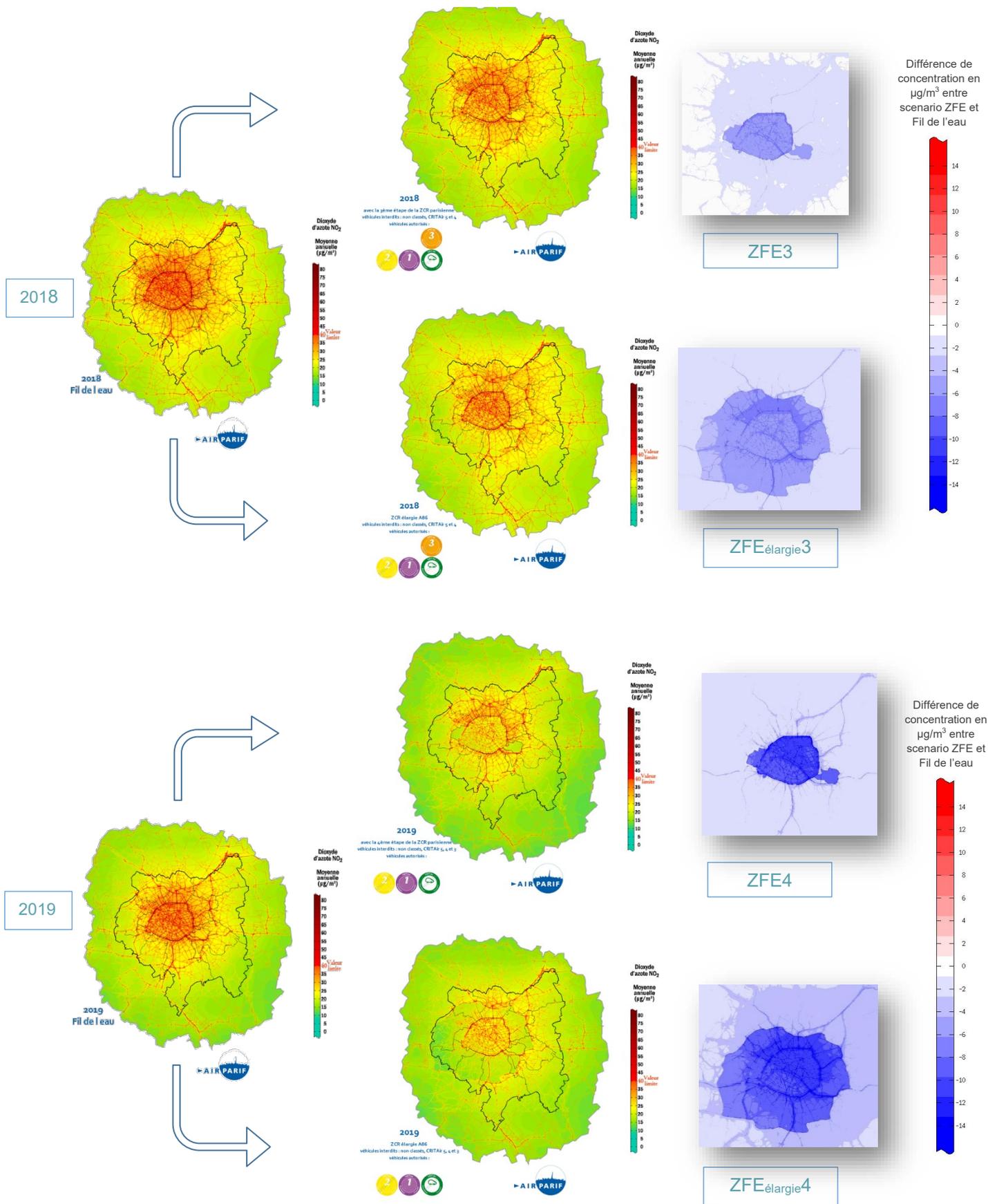


Figure 11. Exposition de la population résidant à Paris et dans la Métropole du Grand Paris (MGP) par classes de concentrations de dioxyde d'azote selon les étapes et périmètres de la ZFE



Pour ces scénarios, cela se traduit par des diminutions attendues des niveaux de NO₂ par rapport au scénario « fil de l'eau » telles que décrites dans le tableau suivant pour chaque sous-périmètre géographique (Tableau 13).

Tableau 13. Distribution de la population des ménages en fonction des diminutions attendues des niveaux de NO₂ (en µg/m³) selon le sous-périmètre géographique et le scénario étudié par rapport au scénario fil de l'eau

Percentiles de population	Baisse du NO ₂ attendu (en µg/m ³)			
	Paris	A86 (hors Paris)	MGP (hors A86)	Francilienne (hors MGP)
ZFE3				
p05	4,8	<i>0,8</i>	<i>0,8</i>	<i>0,6</i>
p25	5,2	<i>1,0</i>	<i>0,9</i>	<i>0,7</i>
p50	5,4	<i>1,1</i>	<i>0,9</i>	<i>0,8</i>
p75	5,7	<i>1,3</i>	<i>1,0</i>	<i>0,8</i>
p95	6,5	<i>2,0</i>	<i>1,3</i>	<i>0,9</i>
ZFE^{élargie}3				
p05	4,9	<i>4,0</i>	<i>1,4</i>	<i>1,1</i>
p25	5,3	<i>5,0</i>	<i>1,5</i>	<i>1,2</i>
p50	5,5	<i>5,4</i>	<i>1,6</i>	<i>1,3</i>
p75	5,9	<i>6,0</i>	<i>1,8</i>	<i>1,4</i>
p95	6,6	<i>6,8</i>	<i>2,6</i>	<i>1,6</i>
ZFE4				
p05	8,4	<i>1,5</i>	<i>1,5</i>	<i>1,2</i>
p25	9,0	<i>1,8</i>	<i>1,6</i>	<i>1,3</i>
p50	9,4	<i>2,0</i>	<i>1,7</i>	<i>1,4</i>
p75	10,1	<i>2,3</i>	<i>1,9</i>	<i>1,5</i>
p95	11,5	<i>3,6</i>	<i>2,3</i>	<i>1,7</i>
ZFE^{élargie}4				
p05	8,6	<i>6,6</i>	<i>2,6</i>	<i>2,1</i>
p25	9,3	<i>8,1</i>	<i>2,8</i>	<i>2,3</i>
p50	9,7	<i>8,8</i>	<i>3,0</i>	<i>2,4</i>
p75	10,4	<i>9,8</i>	<i>3,4</i>	<i>2,6</i>
p95	11,8	<i>11,5</i>	<i>4,8</i>	<i>3,0</i>

Les valeurs en italique indiquent que l'on se situe hors du périmètre de la ZFE

4.3 Modifications attendues sur les niveaux de fond

Les diminutions attendues des niveaux de NO₂ par rapport au scénario fil de l'eau relatives aux niveaux de fond sont décrites dans le tableau suivant pour chaque sous-périmètre géographique (Tableau 14).

Tableau 14. Distribution de la population des ménages en fonction des diminutions attendues des niveaux de fond de NO₂ (en µg/m³) selon le sous-périmètre géographique et le scénario étudié par rapport au scénario fil de l'eau

Percentiles de population	Baisse du fond NO ₂ attendu (en µg/m ³)			
	Paris	A86 (hors Paris)	MGP (hors A86)	Francilienne (hors MGP)
ZFE3				
p05	4,7	<i>0,8</i>	<i>0,8</i>	<i>0,7</i>
p25	4,9	<i>1,0</i>	<i>0,9</i>	<i>0,7</i>
p50	5,2	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>	<i>0,8</i>
p75	5,4	<i>1,1</i>	<i>1,0</i>	<i>0,8</i>
p95	5,5	<i>1,2</i>	<i>1,1</i>	<i>0,9</i>
ZFE_{élargie3}				
p05	4,7	<i>3,8</i>	<i>1,3</i>	<i>1,1</i>
p25	4,9	<i>4,7</i>	<i>1,4</i>	<i>1,2</i>
p50	5,2	<i>5,1</i>	<i>1,5</i>	<i>1,3</i>
p75	5,4	<i>5,5</i>	<i>1,6</i>	<i>1,3</i>
p95	5,5	<i>5,9</i>	<i>1,8</i>	<i>1,5</i>
ZFE4				
p05	7,9	<i>1,4</i>	<i>1,4</i>	<i>1,2</i>
p25	8,4	<i>1,7</i>	<i>1,6</i>	<i>1,2</i>
p50	8,8	<i>1,9</i>	<i>1,7</i>	<i>1,3</i>
p75	9,0	<i>2,0</i>	<i>1,8</i>	<i>1,4</i>
p95	9,1	<i>2,2</i>	<i>2,0</i>	<i>1,6</i>
ZFE_{élargie4}				
p05	7,9	<i>6,0</i>	<i>2,2</i>	<i>1,8</i>
p25	8,4	<i>7,3</i>	<i>2,4</i>	<i>2,0</i>
p50	8,8	<i>7,9</i>	<i>2,6</i>	<i>2,1</i>
p75	9,0	<i>8,6</i>	<i>2,8</i>	<i>2,2</i>
p95	9,1	<i>9,3</i>	<i>3,2</i>	<i>2,5</i>

Les valeurs en italique indiquent que l'on se situe hors du périmètre de la ZFE

4.4 Nombres d'événements sanitaires observés dans la population étudiée

4.4.1 Mortalité toutes causes non accidentelles et espérance de vie à 30 ans

Les nombres de décès annuels toutes causes non accidentelles chez les 30 ans et plus (moyenne 2011-2013) et les effectifs¹ de population correspondant (Insee, RP 2012) sur lesquels se basent les taux bruts sont présentés dans le tableau suivant pour la zone d'étude et chaque sous-périmètre, de même que l'espérance de vie à 30 ans (Tableau 15).

¹ Ces effectifs sont ceux de la population totale et non uniquement celle des ménages dont les effectifs sont légèrement inférieurs.

Tableau 15. Population des plus de 30 ans (RP 2012, Insee 2012), mortalité totale annuelle toute cause non accidentelle des plus de 30 ans, taux brut et espérance de vie à 30 ans selon les périmètres d'étude

Périmètres d'étude	Population âgée de 30 ans et plus	Mortalité totale (30 et plus)	Taux brut	Espérance de vie à 30 ans (ans)
Paris	1 384 360	13 286	0,96%	52,54
Intra-A86 (hors Paris)	1 592 594	15 290	0,96%	52,49
MGP (hors intra-A86)	1 205 490	11 450	0,95%	52,23
Francilienne (hors MGP)	1 536 065	14 371	0,94%	52,68
ZONE D'ETUDE (TOTAL)	5 718 509	54 397	0,95%	52,50

Source : CepiDC, moyenne 2011-2013

4.4.2 Nombres de naissance de faible poids et effectifs de population

Les nombres de naissances à terme (>37 SA) de faible poids (<2 500 g) comptabilisés en 2016 et les effectifs de naissance (Insee, RP 2016) sur lesquels se basent les taux bruts sont présentés dans le tableau suivant pour chaque département.

Tableau 16. Nombres de naissances (Insee, 2016) et nombres de naissances vivantes (>37 SA) de faible poids en 2016 par départements franciliens

Départements	Nombres de naissances	Nombres de naissances vivantes (>37 SA) de faible poids	Taux brut
75	28 384	743	2,6 %
92	23 830	629	2,6 %
93	29 065	788	2,7 %
94	20 639	509	2,5 %
77	18 867	507	2,7 %
78	18 918	532	2,8 %
91	18 603	483	2,6 %
95	19 676	519	2,6 %

Sources : PMSI, exploitation Périnat-ARS-IDF

4.4.3 Nouveaux cas de cardiopathies ischémiques

Les nombres de nouveaux cas de cardiopathies ischémiques (approchés par les hospitalisations pour syndrome coronarien aigu) chez les 40-74 ans en 2016 et les effectifs de population correspondant (Insee, RP 2014) sur lesquels se basent les taux bruts sont présentés dans le tableau suivant pour la zone d'étude et chaque sous-périmètre.

Tableau 17. Nouveaux cas de cardiopathies ischémiques, approchés par les hospitalisations, en 2016 chez les 40-74 ans

Périmètres d'étude	Population Insee 2014 40-74 ans	Nombres de nouveaux cas*	Taux brut
Paris	862 226	1 592	0,18%
Intra-A86 (hors Paris)	1 019 025	1 868	0,18%
MGP (hors intra-A86)	801 400	1 644	0,21%
Francilienne (hors MGP)	1 034 070	1 753	0,17%
ZONE D'ETUDE (TOTAL)	3 716 721	6 857	0,18%

*un cas est considéré comme nouveau si aucun antécédent d'hospitalisation pour cardiopathie ischémique n'a été enregistré dans les 10 ans

Sources : PMSI, exploitation Santé publique France

4.4.4 Nouveaux cas de mise sous traitement antiasthmatique

Les nombres de nouveaux cas d'asthme chez les 0-17 ans en 2016, estimés à partir de la délivrance de médicaments antiasthmatiques, et les effectifs de population correspondant (Insee, RP 2014) sur lesquels se basent les taux bruts sont présentés dans le tableau suivant pour la zone d'étude et chaque sous-périmètre (Tableau 18).

Tableau 18. Population des 0-17 ans (Insee RP 2014) et nouveaux cas d'asthme en 2016 chez les 0-17 ans estimés à partir des délivrances de médicaments*

Périmètres d'étude	Population Insee 2014 0-17 ans	Nouveaux cas (≥3 délivrances)	Taux brut
Paris	377 101	15 262	4,05%
Intra-A86 (hors Paris)	618 504	28 063	4,54%
MGP (hors intra-A86)	546 907	26 078	4,77%
Francilienne (hors MGP)	672 154	31 037	4,62%
ZONE D'ETUDE (TOTAL)	2 214 666	100 440	4,54%

* pour syndrome obstructif des voies aériennes de la classe R03 avec absence d'antécédents dans les trois années précédentes

Sources : Sniiram, exploitation Santé publique France

4.4.5 Nombres d'hospitalisations pour cardiopathie ischémique

Les nombres d'hospitalisations pour cardiopathie ischémique chez les 40-74 ans en 2016 et les effectifs de population correspondant (Insee, RP 2014) sur lesquels se basent les taux bruts sont présentés dans le tableau suivant pour la zone d'étude et chaque sous-périmètre.

Tableau 19. Population des 40-74 ans (RP Insee 2014) et hospitalisations pour cardiopathies ischémiques en 2016 chez les 40-74 ans selon les périmètres d'étude

Périmètres d'étude	Population Insee 2014 40-74 ans	Nombres d'hospitalisations	Taux brut
Paris	862 226	3 860	0,45%
Intra-A86 (hors Paris)	1 019 025	4 426	0,43%
MGP (hors intra-A86)	801 400	3 447	0,43%
Francilienne (hors MGP)	1 034 070	4 037	0,39%
ZONE D'ETUDE (TOTAL)	3 716 721	15 770	0,42%

* patients domiciliés dans les communes correspondantes

Sources : PMSI, exploitation Santé publique France

4.4.6 Nombres de recours aux urgences pour asthme

Les nombres de consultations aux urgences dont le diagnostic pour asthme chez 0-17 ans a été enregistré en 2016 et les effectifs de population correspondant (Insee, RP 2014) sur lesquels se basent les taux bruts sont présentés dans le tableau suivant pour chaque département.

Tableau 20. Nombres de consultations aux urgences pour asthme chez les 0-17 ans et taux de codage des diagnostics

Départements	Population Insee 2014 0-17 ans	Consultations aux urgences* pour asthme chez 0-17 ans		Taux brut
		Nombres	Taux de codage des diagnostics	
75	377 088	2 842	57%	0,75%
92	351 785	2 501	64%	0,71%
93	349 093	2 799	87%	0,80%
94	315 009	2 196	72%	0,70%
77	365 367	3 632	81%	0,99%
78	413 500	4 418	87%	1,07%
91	317 650	2 830	70%	0,89%
95	311 689	4 270	79%	1,37%

* patients domiciliés dans le département

Sources : Oscour®, Santé publique France, exploitation Cire IdF

4.5 Bénéfices sanitaires potentiels attendus selon les scénarios étudiés

Les nombres de cas estimés ont été arrondis à la dizaine la plus proche. L'intervalle de confiance (entre crochets), correspond à l'intervalle de confiance¹ à 95 % qui encadre la relation C-R.

4.5.1 Bénéfices sanitaires liés à la diminution des risques chroniques

Nombres annuels de décès potentiellement évitables chez les 30 ans et plus

Les nombres annuels de décès potentiellement évitables chez les 30 ans et plus du fait de la mise en œuvre de la ZFE selon les quatre scénarios étudiés sont présentés dans le tableau et le graphique suivant (Tableau 21 et Figure 12) pour la zone d'étude et détaillé par sous-zone. De même, sont présentés les pourcentages de baisse que cela représente par rapport au nombre total de cas rencontrés dans la population.

Tableau 21. Nombres annuels de décès potentiellement évitables chez les 30 ans et plus et pourcentages selon les scénarios étudiés

Zone d'étude et sous-zones		Scénarios			
		ZFE3	ZFE _{élargie3}	ZFE4	ZFE _{élargie4}
Communes intra-Francilienne	cas	110 [0;330]	200 [0;580]	200 [0;590]	340 [0;1010]
	%	0,2 % [0;0,6]	0,4 % [0;1]	0,4 % [0;1,1]	0,6 % [0;1,8]
MGP*	cas	100 [0;300]	180 [0;530]	180 [0;530]	310 [0;900]
	%	0,2 % [0;0,7]	0,4 % [0;1,3]	0,4 % [0;1,3]	0,8 % [0;2,2]
Communes intra-A86	cas	90 [0;270]	160 [0;460]	160 [0;470]	270 [0;790]
	%	0,3 % [0;0,9]	0,5 % [0;1,6]	0,6 % [0;1,6]	0,9 % [0;2,7]
Paris	cas	70 [0;210]	70 [0;220]	130 [0;370]	130 [0;380]
	%	0,5 % [0;1,6]	0,6 % [0;1,6]	0,9 % [0;2,8]	1 % [0;2,9]

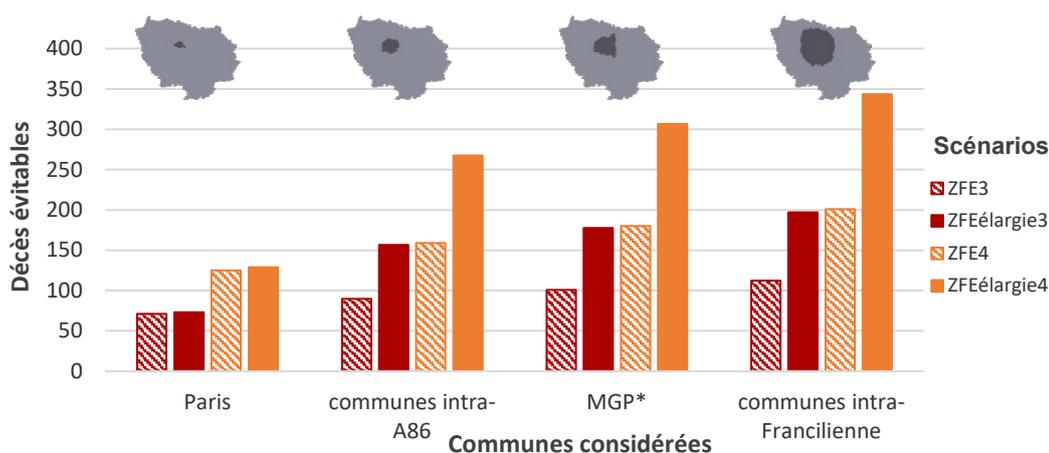
* inclut aussi les deux communes du 78 situées à l'intérieur de l'A86 (78 640 et 78 686)

Les nombres de décès potentiellement évitables pourraient atteindre 340 pour le scénario le plus performant (ZFE_{élargie4}). L'interdiction d'un niveau Crit'air supplémentaire (qui augmente le nombre de véhicules concernés) renforcerait les bénéfices. Ces résultats montrent également que des bénéfices sanitaires seraient attendus même en dehors du périmètre de restriction de la ZFE défini dans le dispositif. Cela représenterait entre 40 et 70 cas additionnels pour les populations résidant en dehors de ce périmètre. Les gains relatifs, traduits en pourcentages de baisse, resteraient toutefois plus importants pour les populations résidant à l'intérieur du périmètre de restriction défini dans les scénarios ZFE et restent les plus élevés à Paris.

Les nombres de décès potentiellement évitables peuvent atteindre 340 par an pour le scénario le plus performant.

¹ Cet intervalle donne uniquement la « marge d'incertitude » autour du risque. Il n'intègre pas les incertitudes sur la détermination des concentrations ou autres. La largeur de l'intervalle de confiance représente la « précision » de l'estimation de la relation C-R (plus l'intervalle est étroit, plus la précision est importante). Dans le cadre de notre étude, il a été retenu des risques pour lesquels l'incertitude était large. Dans ce cas, les résultats de calcul d'impact pour la borne inférieure ont été tronqués à 0.

Figure 12. Nombres annuels de décès potentiellement évitables chez les 30 ans et plus selon les scénarios étudiés



* inclut aussi les deux communes du 78 situées à l'intérieur de l'A86 (78 640 et 78 686)

Nombres d'années de vie gagnées chez les 30 ans et plus

Ces décès potentiellement évitables ont été traduits en nombre total d'années de vie gagnées au sein de la population d'étude, qui résulte du produit entre le gain moyen en espérance de vie à 30 ans et le nombre de personnes de 30 ans concernées. Les gains moyens en espérance de vie, utiles au calcul du nombre total d'années de vie gagnées, peuvent paraître faibles mais peuvent difficilement être interprétés. Cette valeur moyenne gomme la distribution des gains au sein de la population étudiée. En effet des gains bien plus importants, susceptibles de se chiffrer en mois, voire en années, sont attendus au sein d'une fraction plus réduite de la population plus particulièrement affectée par la pollution de l'air (individus les plus sensibles et les plus exposés) mais ils n'ont pas pu être estimés spécifiquement. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant (Tableau 22).

Les gains en espérance de vie apparaissent faibles en moyenne mais, s'il était possible de les calculer spécifiquement pour les populations les plus exposées et les plus sensibles, ils se chiffreraient en mois, voire en années.

Tableau 22. Nombres d'années de vie gagnées (ans) et gains moyens annuels d'espérance de vie (en jours) attendus chez les 30 ans et plus selon les scénarios étudiés

Zone d'étude et sous-zones		Scénarios			
		ZFE3	ZFEélargie3	ZFE4	ZFEélargie4
Communes intra-Francilienne	Total (ans)	38 300 [0;111 600]	66 300 [0;194 500]	67 500 [0;197 700]	114 300 [0;335 400]
	Gain moyen (jours)	2 [0;7]	4 [0;13]	4 [0;13]	7 [0;22]
MGP*	Total (ans)	33 900 [0;100 200]	59 300 [0;175 500]	60 100 [0;177 500]	102 000 [0;300 700]
	Gain moyen (jours)	3 [0;9]	5 [0;16]	5 [0;16]	9 [0;27]
Communes intra-A86	Total (ans)	29 900 [0;88 400]	51 900 [0;153 300]	52 800 [0;155 800]	88 100 [0;259 800]
	Gain moyen (jours)	4 [0;11]	6 [0;19]	7 [0;19]	11 [0;32]
Paris	Total (ans)	23 900 [0;70 700]	24 500 [0;72 400]	41 800 [0;123 100]	43 000 [0;126 800]
	Gain moyen (jours)	6 [0;19]	7 [0;19]	11 [0;33]	12 [0;34]

* inclut aussi les deux communes du 78 situées à l'intérieur de l'A86 (78 640 et 78 686)

Nombres annuels de nouveaux cas de cardiopathie ischémique potentiellement évitables

Les nombres annuels de nouveaux cas de cardiopathie ischémique potentiellement évitables chez les 40-74 ans du fait de la mise en œuvre de la ZFE selon les quatre scénarios étudiés sont présentés dans le tableau et sur le graphique suivant (Tableau 23 et Figure 13) pour chaque périmètre étudié.

Tableau 23. Nombres annuels de cas de cardiopathie ischémique potentiellement évitables chez les 40-74 ans et pourcentages selon les scénarios étudiés

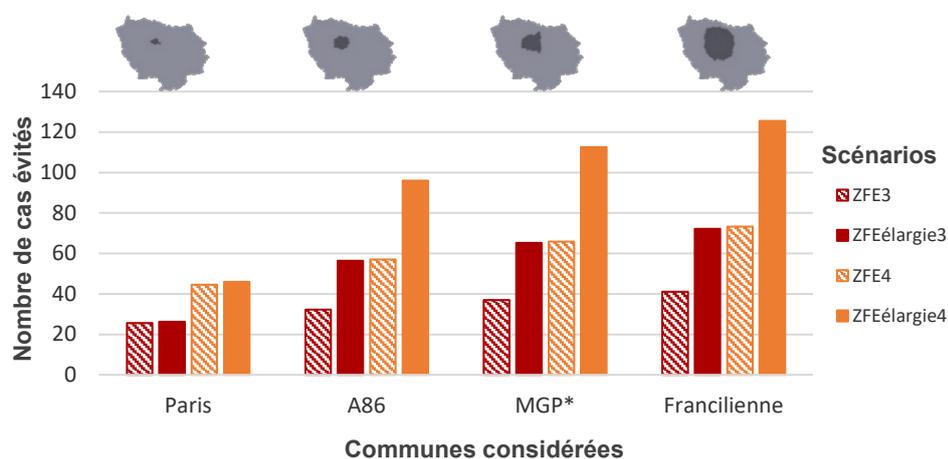
Zone d'étude et sous-zones		Scénarios			
		ZFE3	ZFE _{élargie3}	ZFE4	ZFE _{élargie4}
Communes intra-Francilienne	cas	40 [0;110]	70 [0;190]	70 [0;170]	130 [0;320]
	%	0,6 % [0;1,5]	1,0 % [0;2,7]	1,0 % [0;2,7]	1,8 % [0;4,6]
MGP*	cas	40 [0;100]	70 [0;170]	70 [0;170]	110 [0;290]
	%	0,7 % [0;1,9]	1,3 % [0;3,3]	1,3 % [0;3,3]	2,2 % [0;5,5]
Communes intra-A86	cas	30 [0;80]	60 [0;150]	60 [0;150]	100 [0;240]
	%	0,9 % [0;2,4]	1,6 % [0;4,1]	1,6 % [0;4,1]	2,7 % [0;6,9]
Paris	cas	30 [0;70]	30 [0;70]	50 [0;110]	50 [0;120]
	%	1,6 % [0;4,1]	1,6 % [0;4,2]	2,8 % [0;7,1]	2,9 % [0;7,3]

* inclut aussi les deux communes du 78 situées à l'intérieur de l'A86 (78 640 et 78 686)

Les nombres de cas de cardiopathie ischémique potentiellement évitables apparaissent plus faibles que les nombres de décès mais mis en regard des nombres de cas observés dans la population, le taux de baisse est plus important.

Les nombres de cas attendus s'échelonnent entre 40 pour le scénario ZFE3, et 130 pour le scénario le plus performant (ZFE_{élargie4}). Ces nombres peuvent apparaître faibles mais mis en regard du nombre de cas observés dans la population, le pourcentage de baisse apparaît plus important que celui estimé pour la mortalité, jusqu'à 1,8 % de l'ensemble des cas, contre 0,6 %. Ces pourcentages atteignent près de 3 % pour les populations résidant à l'intérieur du périmètre de restriction défini dans les scénarios ZFE.

Figure 13. Nombres annuels de cas de cardiopathie ischémique potentiellement évitables chez les 40-74 ans selon les scénarios étudiés



* inclut aussi les deux communes du 78 situées à l'intérieur de l'A86 (78 640 et 78 686)

Comme pour la mortalité, ces résultats montrent que les bénéfices sanitaires s'étendraient au-delà du périmètre de la ZFE.

Nombres annuels de nouveaux cas d'asthme potentiellement évitables

Les nombres annuels de nouveaux cas d'asthme (estimés à partir des délivrances de médicaments) potentiellement évitable chez les 0-17 ans du fait de la mise en œuvre de la ZFE selon les quatre scénarios étudiés sont présentés dans le tableau et sur le graphique suivant (Tableau 24 et Figure 14) pour chaque périmètre étudié.

Tableau 24. Nombres annuels de cas d'asthme potentiellement évitables chez les 0- 17 ans et pourcentages selon les scénarios étudiés

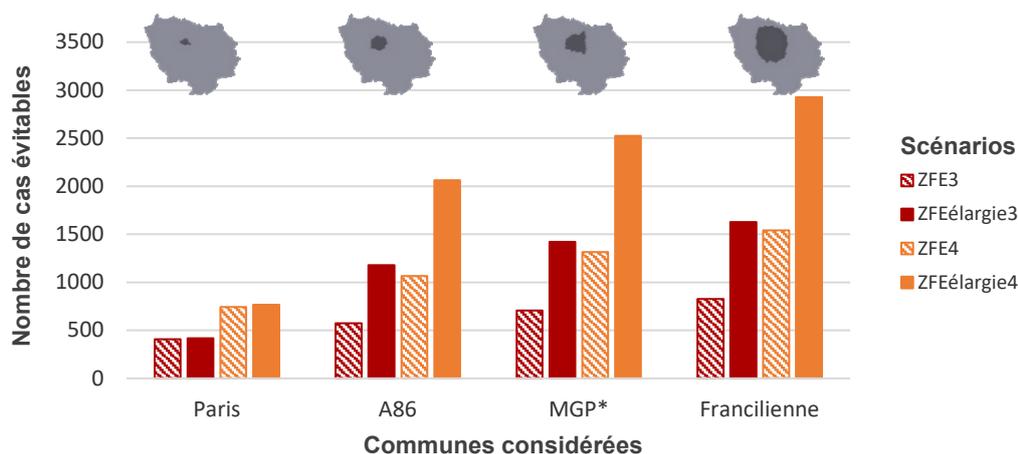
Zone d'étude et sous-zones		Scénarios			
		ZFE3	ZFE _{élargie3}	ZFE4	ZFE _{élargie4}
Communes intra-Francilienne	cas	830 [200;1 440]	1 630 [400;2 840]	1 540 [380;2 680]	2 930 [730;5 070]
	%	0,9 % [0,2;1,6]	1,8 % [0,4;3,1]	1,6 % [0,2;2,8]	3,0 % [0,4;5,1]
MGP*	cas	710 [180;1 230]	1 420 [350;2 480]	1 310 [330;2 280]	2 530 [630;4 370]
	%	1,2 % [0,3;2]	2,2 % [0,6;3,8]	2,0 % [0,5;3,4]	3,7 % [0,9;6,4]
Communes intra-A86	cas	570 [140;1 000]	1 180 [290;2050]	1 070 [270;1 850]	2 060 [520;3 560]
	%	1,5 % [0,4;2,6]	3,0 % [0,7;5,2]	2,5 % [0,6;4,4]	4,8 % [1,2;8,2]
Paris	cas	410 [100;710]	420 [100;730]	750 [190;1 290]	770 [190;1 320]
	%	3,0 % [0,7;5,2]	3,1 % [0,7;5,4]	4,9 % [1,2;8,5]	5,1 % [1,3;8,8]

* inclut aussi les deux communes du 78 situées à l'intérieur de l'A86 (78 640 et 78 686)

De l'ordre de 2 930 nouveaux cas d'asthme pourraient être évités pour le scénario le plus performant, soit une réduction de 3 %.

Les nombres de cas attendus apparaissent relativement importants par rapport aux autres indicateurs étudiés. Ils reflètent une pathologie chronique fréquente dans la population et le poids de l'exposition à la pollution de l'air dans la survenue de cette pathologie chez l'enfant, population particulièrement sensible. Ainsi, les nombres de cas évitables s'échelonnaient entre 830 pour le scénario ZFE3 et 2 930 pour le scénario le plus performant (ZFE_{élargie4}), soit une baisse respective de 0,9 et 3 % de l'ensemble des nouveaux cas de mise sous traitement antiasthmatique. Ce pourcentage atteindrait 5 % pour les populations résidant à l'intérieur du périmètre de restriction défini dans les scénarios ZFE.

Figure 14. Nombres annuels de cas d'asthme potentiellement évitables chez les 0- 17 ans selon les scénarios étudiés



* inclut aussi les deux communes du 78 situées à l'intérieur de l'A86 (78 640 et 78 686)

Nombres annuels de naissances (à terme) de faible poids potentiellement évitables

Les nombres annuels de naissances (à terme) de faible poids potentiellement évitables du fait de la mise en œuvre de la ZFE selon les quatre scénarios étudiés sont présentés dans le tableau et sur le graphique suivant (Tableau 25 et Figure 15) pour chaque périmètre étudié.

Tableau 25. Nombres annuels de naissances (à terme) de faible poids potentiellement évitables et pourcentages selon les scénarios étudiés

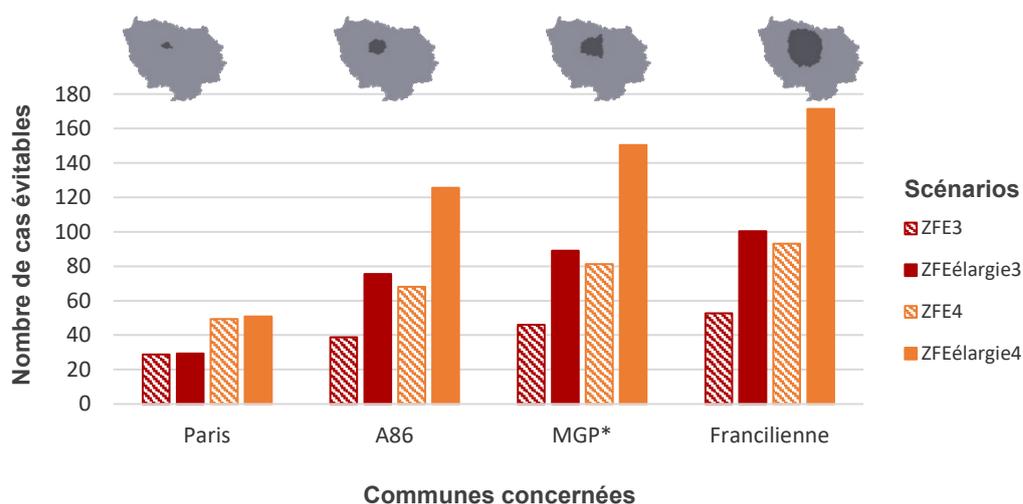
Zone d'étude et sous-zones		Scénarios			
		ZFE3	ZFE _{élargie3}	ZFE4	ZFE _{élargie4}
Communes intra-Francilienne	cas	50 [0;110]	100 [0;200]	90 [0;180]	170 [0;330]
	%	1,5 % [0;3]	2,9 % [0;5,7]	2,7 % [0;5,3]	4,9 % [0;9,7]
MGP*	cas	50 [0;90]	90 [0;180]	80 [0;160]	150 [0;290]
	%	1,9 % [0;3,7]	3,6 % [0;7,1]	3,3 % [0;6,4]	6,1 % [0;11,8]
Communes intra-A86	cas	40 [0;80]	80 [0;150]	70 [0;130]	130 [0;240]
	%	2,4 % [0;4,7]	4,6 % [0;9,1]	4,2 % [0;8,2]	7,7 % [0;15]
Paris	cas	30 [0;60]	30 [0;60]	50 [0;100]	50 [0;100]
	%	4,6 % [0;9,1]	4,7 % [0;9,3]	8,0 % [0;15,4]	8,2 % [0;15,8]

* inclut aussi les deux communes du 78 situées à l'intérieur de l'A86 (78 640 et 78 686)

Les nombres de cas estimés s'échelonnent entre 50 pour le scénario ZFE3 et 170 pour le scénario le plus performant (ZFE_{élargie4}) ce qui représenterait une baisse respectivement égale à 1,5 % et près de 5 % de l'ensemble des naissances de faible poids. Pour ce dernier scénario, ce pourcentage atteindrait 8,2 % à Paris. Ceci illustre l'ampleur de l'impact de la pollution de l'air sur la maturation du fœtus et rappelle à quel point la période de gestation représente une fenêtre critique d'exposition. Ces expositions sont amenées à avoir des conséquences ultérieures sur la santé de l'enfant et de l'adulte.

170 naissances d'enfants de faible poids pourraient être évitées pour le scénario le plus performant, soit une baisse de près de 5 %.

Figure 15. Nombres annuels de naissances (à terme) de faible poids potentiellement évitables selon les scénarios étudiés



* inclut aussi les deux communes du 78 situées à l'intérieur de l'A86 (78 640 et 78 686)

4.5.2 Bénéfices sanitaires liés à la diminution des risques sur les exacerbations

Nombres annuels d'hospitalisations pour cardiopathie ischémique potentiellement évitables chez les 40-74 ans

Les nombres annuels d'hospitalisations pour cardiopathie ischémique potentiellement évitables chez les 40-74 ans du fait de la mise en œuvre de la ZFE sont présentés dans le tableau et sur le graphique suivant (Tableau 26 et Figure 16) pour chaque périmètre étudié.

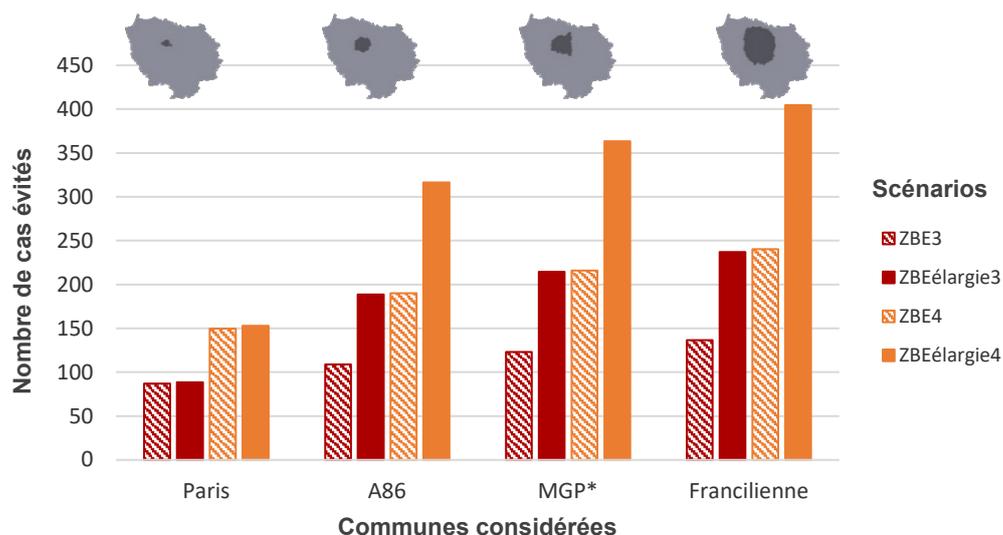
Tableau 26. Nombres annuels d'hospitalisations pour cardiopathie ischémique potentiellement évitables chez les 40-74 ans et pourcentages selon les scénarios étudiés

Zone d'étude et sous-zones		Scénarios			
		ZFE3	ZFE ^{élargie3}	ZFE4	ZFE ^{élargie4}
Communes intra-Francilienne	cas	140 [0;310]	240 [0;530]	240 [0;530]	410 [0;900]
	%	0,9 % [0;1,9]	1,5 % [0;3,3]	1,5 % [0;3,3]	2,5 % [0;5,6]
MGP*	cas	120 [0;280]	220 [0;480]	220 [0;480]	360 [0;810]
	%	1 % [0;2,3]	1,8 % [0;4]	1,8 % [0;4]	3 % [0;6,8]
Communes intra-A86	cas	110 [0;240]	190 [0;420]	190 [0;420]	320 [0;700]
	%	1,3 % [0;2,9]	2,3 % [0;5,0]	2,3 % [0;5]	3,8 % [0;8,3]
Paris	cas	90 [0;190]	90 [0;200]	150 [0;330]	150 [0;340]
	%	2,3 % [0;5,0]	2,3 % [0;5,1]	3,9 % [0;8,6]	4,0 % [0;8,8]

* inclut aussi les deux communes du 78 situées à l'intérieur de l'A86 (78 640 et 78 686)

Les nombres de cas estimés s'échelonnaient entre 140 pour le scénario ZFE3 et 410 pour le scénario le plus performant (ZFE^{élargie4}) avec des pourcentages de réduction respectifs de 0,9 % et de 2,5 % de l'ensemble des hospitalisations pour cette pathologie. Pour ce dernier scénario, ce pourcentage atteindrait 4 % à Paris.

Figure 16. Nombres annuels d'hospitalisations pour cardiopathie ischémique évitées potentiellement évitables chez les plus de 40-74 ans selon les scénarios de mise en œuvre de la ZFE étudiés



* inclut aussi les deux communes du 78 situées à l'intérieur de l'A86 (78 640 et 78 686)

Nombres annuels de recours aux services d’urgences pour asthme potentiellement évitables chez les 0-17 ans

Les nombres annuels de recours aux urgences pour asthme chez les 0-17 ans potentiellement évitables du fait de la mise en œuvre de la ZFE sont présentés dans le tableau et sur le graphique suivant (Tableau 27 et Figure 17) pour chaque périmètre étudié.

Tableau 27. Nombres annuels de recours aux urgences pour asthme chez les 0- 17 ans potentiellement évitables et pourcentages selon les scénarios de mise en œuvre de la ZFE étudiés

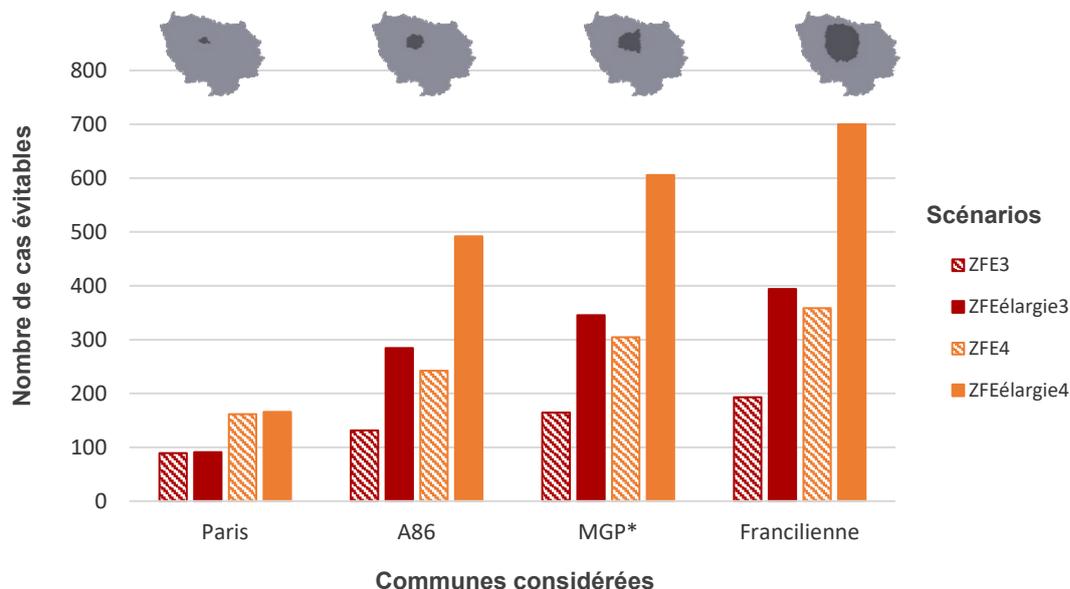
Zone d'étude et sous-zones		Scénarios			
		ZFE3	ZFE ^{élargie3}	ZFE4	ZFE ^{élargie4}
Communes intra-Francilienne	cas	190 [40;350]	390 [80;710]	360 [80;650]	700 [150;1260]
	%	1,0 % [0,2;1,8]	2,0 % [0,4;3,7]	1,7 % [0,4;3,1]	3,4 % [0,7;6,1]
MGP*	cas	160 [40;300]	350 [70;620]	300 [70;550]	610 [130;1090]
	%	1,2 % [0,3;2,2]	2,6 % [0,5;4,6]	2,1 % [0,4;3,8]	4,2 % [0,9;7,5]
Communes intra-A86	cas	130 [30;240]	280 [60;510]	240 [50;440]	490 [110;880]
	%	1,6 % [0,3;2,9]	3,5 % [0,7;6,2]	2,7 % [0,6;4,9]	5,5 % [1,2;9,8]
Paris	cas	90 [20;160]	90 [20;160]	160 [40;290]	170 [40;300]
	%	3,5 % [0,7;6,3]	3,6 % [0,8;6,4]	5,8 % [1,2;10,3]	5,9 % [1,3;10,5]

* inclut aussi les deux communes du 78 situées à l'intérieur de l'A86 (78 640 et 78 686)

Les nombres de cas estimés s'échelonnaient entre 190 pour le scénario ZFE3 et 700 pour le scénario le plus ambitieux (ZFE^{élargie4}) représentant une baisse respective de 1 % et 3,4 % de l'ensemble des recours aux urgences pour asthme. Ces résultats illustrent qu'une action sur les expositions chroniques a également une incidence sur les manifestations des effets de la pollution de l'air à court terme, avec des baisses attendues non négligeables, jusqu'à 6 % à Paris pour le scénario le plus performant.

De l'ordre de 700 recours aux urgences pour asthme chez les enfants pourraient être évités pour le scénario le plus performant (ZFE^{élargie4}) soit une réduction de 3,4 %.

Figure 17. Nombres annuels de recours aux urgences pour asthme potentiellement évitables chez les 0-17 ans selon les scénarios étudiés



* inclut aussi les deux communes du 78 situées à l'intérieur de l'A86 (78 640 et 78 686)

4.6 Défauteur sociale et bénéfices sanitaires potentiels attendus selon les scénarios de mise en œuvre étudiés

4.6.1 Répartition de la population selon le niveau de défauteur sociale

Le tableau suivant décrit la répartition de la population selon le niveau de défauteur sociale estimé à partir du FDep, au sein des trois sous-périmètres considérés : Paris, intra-A86 (hors paris) et MGP (hors intra-A86) (Tableau 28).

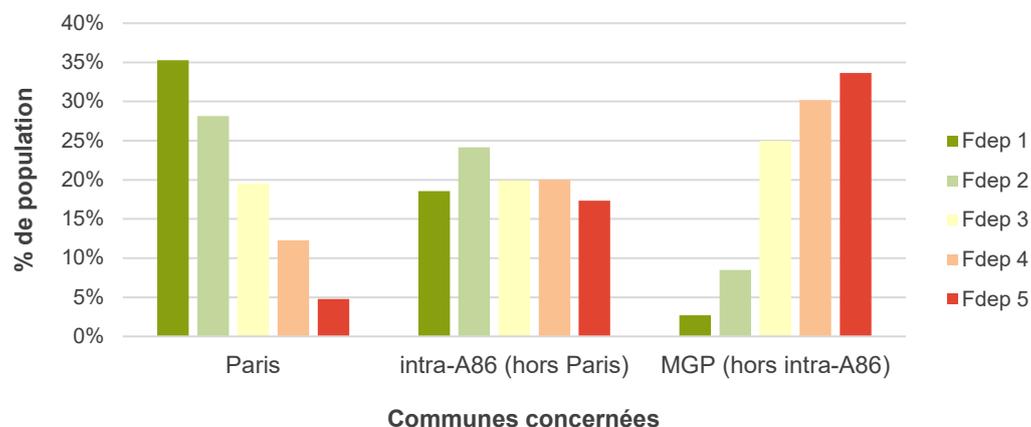
Tableau 28. Distribution de la population selon le niveau de l'indice de défauteur sociale (Fdep) pour trois périmètres

Indice (en quintiles)	Score*	Paris	intra-A86 (hors Paris)	MGP (hors intra-A86)
Fdep 1	-6,9 – -3,5	35 %	19 %	3 %
Fdep 2	-3,5 – -2,3	28 %	24 %	8 %
Fdep 3	-2,3 – -0,9	20 %	20 %	25 %
Fdep 4	-0,9 – 0,8	12 %	20 %	30 %
Fdep 5	0,7 – 5,5	5 %	17 %	34 %

*plus le score est faible, plus la classe est favorisée

Cette distribution est illustrée sur le graphique suivant (Figure 18).

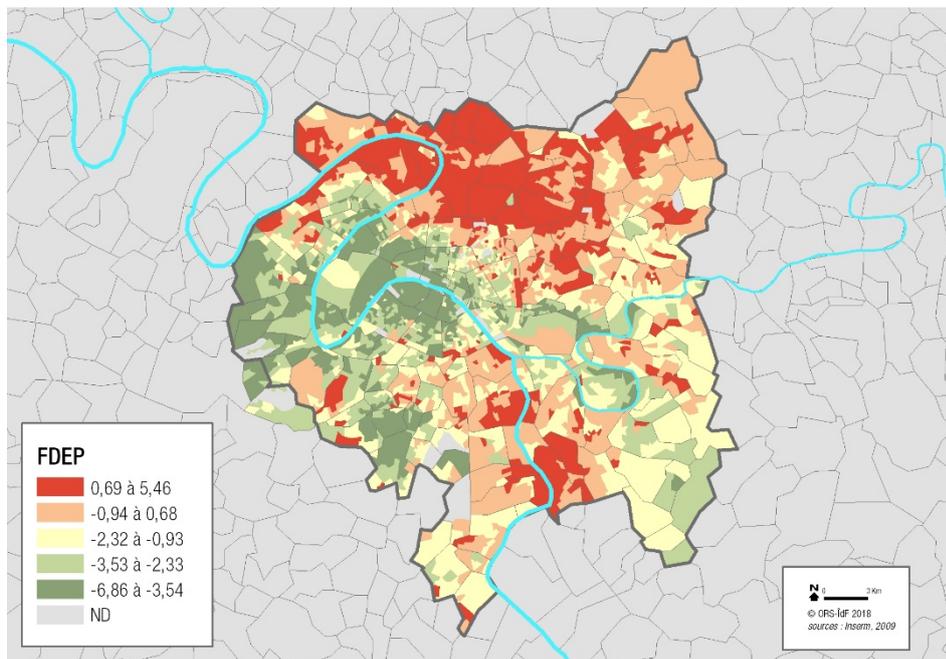
Figure 18. Distribution de la population selon le niveau de l'indice de défauteur sociale (Fdep) pour trois périmètres



Grille de lecture : Fdep 1 représente la catégorie la plus favorisée (en vert foncé) et Fdep 5 la moins favorisée (en rouge)

Pour une compréhension plus fine de l'hétérogénéité de la répartition sociale au sein de ces périmètres, cette distribution est également représentée sous forme cartographique à l'échelle de l'Iris (voir Figure 19).

Figure 19. Niveau de défaveur sociale (Fdep) à l'IRIS au sein de la MGP



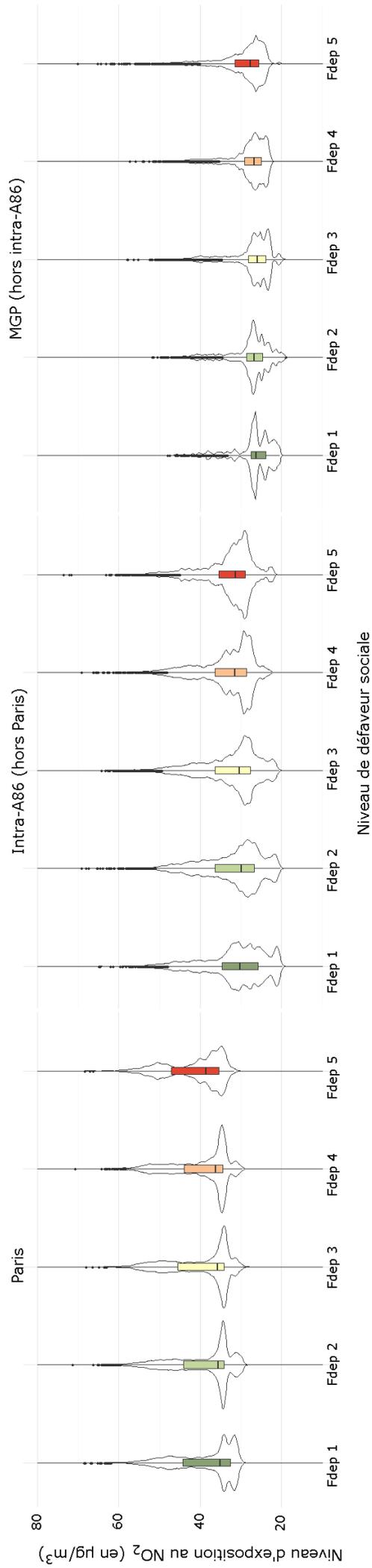
Grille de lecture : plus le score est faible, plus la classe est favorisée (en vert foncé)

Source : Inseem 2009

4.6.2 Exposition de la population selon le niveau de défaveur sociale

Afin de pouvoir interpréter les résultats, il est nécessaire de connaître la distribution de l'exposition initiale au NO₂ selon l'indice de défaveur sociale au sein de chaque périmètre considéré. Cette connaissance permettra notamment d'identifier les différences préexistantes. La figure suivante indique la courbe de distribution du nombre d'habitants selon ces critères ainsi que la médiane et les quartiles de cette distribution considérant le scénario fil de l'eau 2018 (Figure 20).

Figure 20. Distribution du nombre d'habitants selon le niveau d'exposition au NO₂ (scénario fil de l'eau 2018), selon le territoire de résidence et selon le niveau de défaveur sociale (Fdep)



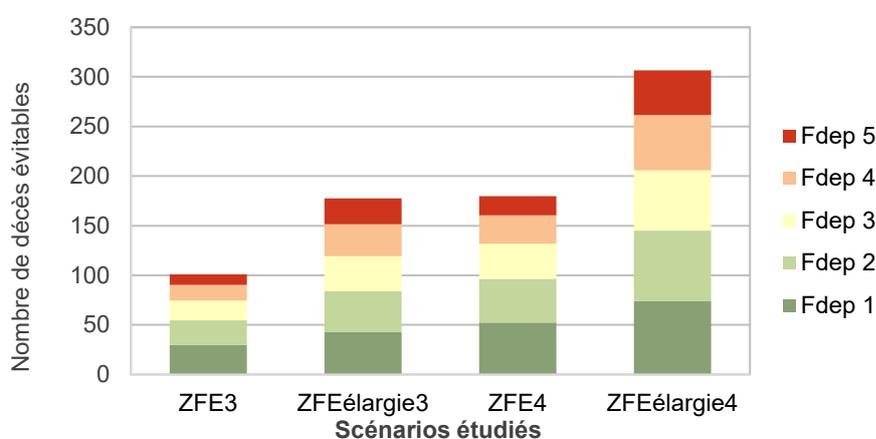
Grille de lecture : Fdep 1 représente la catégorie la plus favorisée (en vert foncé) et Fdep 5 la moins favorisée (en rouge)

Cette figure montre un gradient d'exposition entre Paris et ses deux zones périphériques. Plus on s'éloigne de Paris, moins les niveaux médians d'exposition sont élevés. Au sein de chaque sous-périmètre, sont observés des profils de distribution de l'exposition différents selon les classes de population mais les niveaux médians d'exposition restent relativement homogènes. Cette distribution est à rapporter à l'effectif de population qui est différent pour chaque sous-classe au sein des trois périmètres considérés (cf. Figure 18).

4.6.3 Bénéfices sanitaires potentiels en fonction du niveau de défaveur sociale

Les nombres de décès potentiellement évitables selon le niveau de défaveur sociale sont présentés sur la Figure 21.

Figure 21. Nombres de décès potentiellement évitables chez les plus de 30 ans selon les scénarios de mise en œuvre étudiés pour la population résidant au sein de la MGP en fonction du niveau de défaveur sociale (Fdep)



Grille de lecture : Fdep 1 représente la catégorie la plus favorisée (en vert foncé) et Fdep 5 la moins favorisée (en rouge)

A chaque niveau de défaveur sociale correspond près de 20 % de la population de la MGP (Tableau 29), ainsi les nombres de décès évitables dans chaque catégorie se réfèrent à la même taille de population.

Tableau 29. Répartition des habitants de la MGP de 30 ans et plus selon le niveau de défaveur sociale

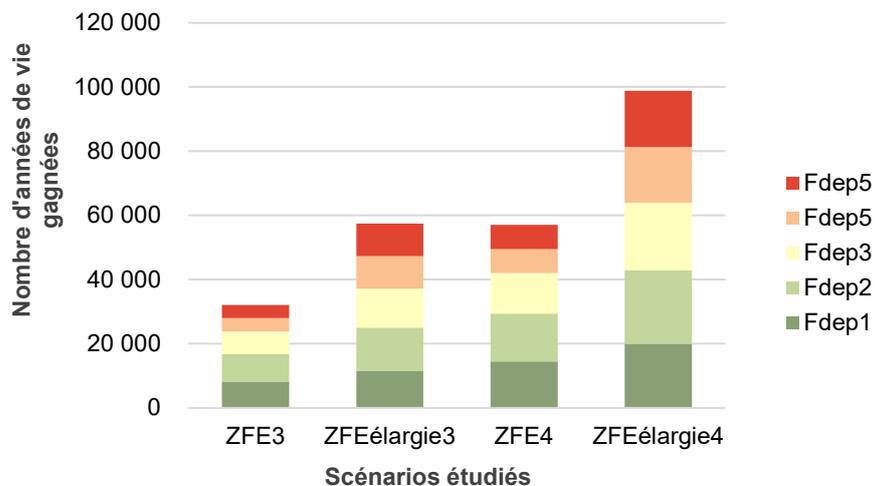
Niveau de défaveur sociale	Nombre d'habitants de 30 ans et plus (%)
Fdep1	805 170 (20 %)
Fdep2	866 164 (21 %)
Fdep3	870 203 (21 %)
Fdep4	839 168 (20 %)
Fdep5	736 518 (18 %)

Les bénéfices estimés en termes de décès reflètent le gradient de défaveur sociale entre Paris et le reste de la MGP qui est inversement proportionnel au gradient d'amélioration de la qualité de l'air, mais les scénarios « périmètre élargi » minimisent l'écart.

Les scénarios « périmètre élargi » minimisent l'écart de bénéfices en matière de décès potentiellement évitables entre les classes les plus favorisées et les moins favorisées. Le nombre de décès évitables dans la catégorie la plus favorisée est supérieur de 40 % par rapport à la catégorie la moins favorisée pour les scénarios « périmètre élargi » alors qu'il est supérieur de 60 % pour les scénarios « périmètre Paris ». Les bénéfices estimés reflètent le gradient de défaveur sociale entre Paris et le reste de la MGP qui est inversement proportionnel au gradient d'amélioration de la qualité de l'air.

Cette différence tend à être lissée, notamment pour les scénarios « périmètre élargi » lorsque sont considérés les gains en nombre d'années d'espérance de vie (Figure 22).

Figure 22. Gain d'espérance de vie chez les 30 ans et plus selon les scénarios de mise en œuvre de la ZFE étudiés pour la population résidant au sein de la MGP en fonction du niveau de défaveur sociale (Fdep)

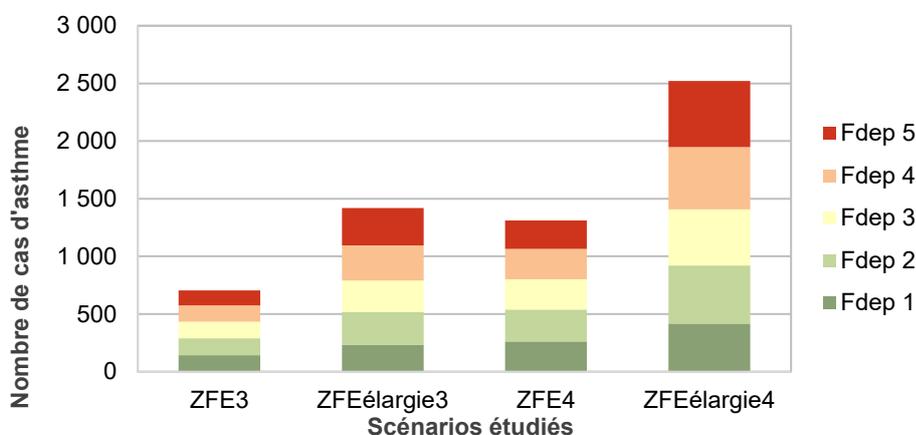


Grille de lecture : Fdep 1 représente la catégorie la plus favorisée (en vert foncé) et Fdep 5 la moins favorisée (en rouge)

Le nombre d'années de vie gagnées pour la population de la catégorie la plus favorisée (Fdep1) est supérieur d'environ 50 % par rapport à celui estimé pour la population la moins favorisée (Fdep5) pour les scénarios « périmètre Paris » alors qu'il n'est que de 10 % supérieur pour les scénarios « périmètre élargi ». Ceci s'explique par un taux de mortalité plus important pour les populations les moins favorisées et donc la baisse du risque, bien que moindre, se traduit par un bénéfice net plus important.

Concernant l'asthme, la différence de nombre de cas potentiellement évitables est nettement moins marquée pour les scénarios « périmètre Paris », plus élevée de seulement 10 % pour la population la plus favorisée par rapport à la moins favorisée. En revanche, pour les scénarios « périmètre élargi », la tendance s'inverse, ce nombre est en effet de l'ordre de 30 % supérieur cette fois-ci pour la catégorie la moins favorisée par rapport à la plus favorisée. Les nombres de cas d'asthme potentiellement évitables chez la moins de 17 ans sont présentés sur la Figure 23.

Figure 23. Nombres de cas d'asthme potentiellement évitables chez les 0-17 ans selon les scénarios de mise en œuvre étudiés pour la population résidant au sein de la MGP en fonction du niveau de défaveur sociale (Fdep)



Grille de lecture : Fdep 1 représente la catégorie la plus favorisée (en vert foncé) et Fdep 5 la moins favorisée (en rouge)

Ceci s'explique du fait que la baisse de risque, bien que plus faible en moyenne pour les populations les moins favorisées, s'applique à une taille de population plus importante. En effet, le nombre de jeunes au sein de la MGP (hors Paris) est nettement plus important qu'au sein de Paris (voir Tableau 12 p. 37), au sein de laquelle le taux brut de nouveaux cas d'asthme est lui-même plus important. Au final, l'effet gradient de défaveur sociale inversement proportionnel au gradient d'exposition est contrebalancé par la taille de la population à risque impactée, plus importante en moyenne au sein des populations défavorisées (voir Tableau 30).

Tableau 30. Répartition des habitants de la MGP de 30 ans et plus selon le niveau de défaveur sociale

Niveau de défaveur sociale	Nombre d'habitants de 30 ans et plus (%)
Fdep1	232 835 (16 %)
Fdep2	265 789 (18 %)
Fdep3	296 970 (20 %)
Fdep4	331 792 (22 %)
Fdep5	368 414 (25 %)

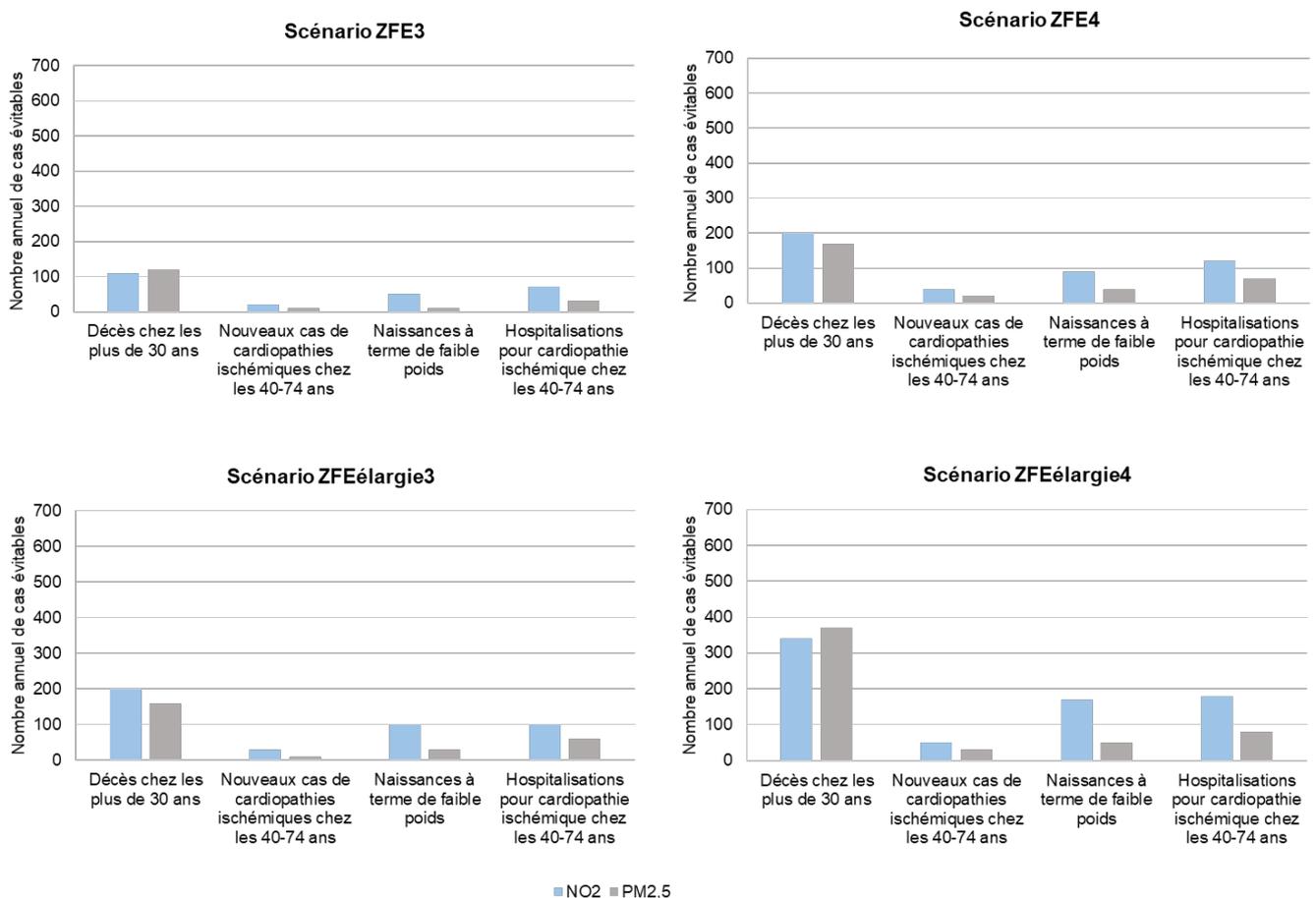
Par ailleurs, les risques, appliqués dans le cas de la mortalité comme dans le cas de la survenue de nouveaux de l'asthme, sont les mêmes quelle que soit la catégorie de population considérée (tout niveau de défaveur sociale confondu). Or, de nombreux travaux montrent un risque plus élevé pour les catégories les moins favorisées (Deguen *et al.*, 2010). Les gains estimés pour les populations défavorisées sont donc ici probablement sous-estimés.

5 | ANALYSES DE SENSIBILITE

5.1 Bénéfices sanitaires potentiels estimés à partir des niveaux de PM_{2,5}

En vue d'explorer la sensibilité des résultats au choix de l'indicateur d'exposition, lorsque cela était possible, les bénéfices sanitaires ont également été estimés à partir des niveaux d'exposition aux PM_{2,5} à l'aide des relations C-R basées sur les PM_{2,5} sélectionnées (voir § 3.3.1 p. 23 et § 3.3.2 p. 25). Les bénéfices en matière de mortalité, de survenue de cardiopathie ischémique et d'hospitalisations ainsi que de naissances de faible poids sont détaillés dans l'Annexe 6 pour les différents scénarios et périmètres intermédiaires (ces calculs n'ont pas pu être effectués pour l'asthme faute de relation C-R connue). Le graphique ci-dessous permet de comparer ces résultats avec les résultats obtenus à partir du NO₂ pour la zone d'étude (Figure 24).

Figure 24. Comparaison des nombres de cas potentiellement évitables estimés respectivement à partir des expositions au NO₂ et aux PM_{2,5} pour la population appartenant à la zone d'étude (périmètre intra-Francilienne) selon les scénarios



Les nombres de décès potentiellement évitables apparaissent du même ordre de grandeur que ceux estimés à partir de la baisse des niveaux de NO₂. A noter que, selon le scénario, la différence de résultat entre les deux estimations peut être positive ou négative. Les types et les parts de véhicules ciblés par le dispositif varient selon le territoire considéré (composition du parc roulant variable) et le niveau de restriction. Cela est susceptible d'influencer localement les émissions respectives de NO₂ et de PM_{2,5}. Ainsi, selon le scénario, l'impact du dispositif en matière de baisse des expositions est plus

favorable localement à un polluant ou l'autre. Cela peut expliquer la variation des résultats observée.

Pour les autres indicateurs considérés, les impacts estimés apparaissent sensiblement plus faibles. Ces différences tiennent notamment à la force de la relation C-R. Elles tiennent également à la distribution de l'exposition qui diffère selon le polluant considéré. La hiérarchie des scénarios en matière de bénéfices est toutefois conservée.

5.2 Bénéfices sanitaires potentiels estimés à partir de différents scénarios de projection démographique des données de population

Afin de préciser l'influence du choix du scénario d'évolution de la population résidente sur l'estimation des bénéfices sanitaires, le nombre de décès ainsi que le nombre de nouveaux cas d'asthme ont été ré-estimés à partir des deux hypothèses suivantes :

- Population constante (pas d'évolution) ;
- Evolution des effectifs de population selon un scénario volontariste (voir détail en Annexe 4).

Les estimations comparatives respectives des deux indicateurs sont présentées dans le Tableau 31 et le Tableau 32. Pour cette comparaison, sont présentés des résultats non arrondis.

Tableau 31. Estimations comparatives des nombres de décès potentiellement évitables chez les plus de 30 ans selon trois hypothèses d'évolution démographique de la population

Hypothèses évolution de la population	ZFE3	ZFE _{élargie} 3	ZFE4	ZFE _{élargie} 4
Absence d'évolution	111 [0;327]	194 [0;575]	197 [0;582]	337 [0;994]
Scénario tendanciel	112 [0;332]	197 [0;583]	201 [0;593]	344 [0;1012]
Scénario volontariste	112 [0;332]	197 [0;583]	201 [0;592]	344 [0;1014]

Tableau 32. Estimations comparatives des nombres de cas d'asthme potentiellement évitables chez les 0-17 ans selon trois hypothèses d'évolution démographique de la population

Hypothèses évolution de la population	ZFE3	ZFE _{élargie} 3	ZFE4	ZFE _{élargie} 4
Absence d'évolution	847 [209;1481]	1 643 [407;2 866]	1 510 [375;2 627]	2 831 [706;4 909]
Scénario tendanciel	825 [204;1 443]	1 628 [403;2 840]	1 542 [383;2 683]	2 926 [730;5 074]
Scénario volontariste	821 [203;1 436]	1 627 [403;2 839]	1 534 [381;2 670]	2 927 [730;5 076]

Ces résultats montrent que le choix du scénario d'évolution entre un scénario tendanciel et un scénario volontariste ne modifie qu'à la marge les résultats des évaluations.

L'écart entre les estimations avec et sans scénario d'évolution de la population sont de l'ordre de -1 à 2 % pour la mortalité et -1 à +3,8 % pour l'asthme.

5.3 Comparaison des bénéfices sanitaires potentiels attendus en fonction du choix de l'indice de défaveur sociale

5.3.1 Corrélations entre les différents indices

La répartition de la population selon l'EDI et selon l'indice de bas revenu au sein des trois périmètres considérés est décrite dans l'Annexe 7.

Des corrélations entre les différents indices ont été estimées pour chaque sous-zone délimitées par les deux périmètres ZFE (Paris, communes intra-A86 (hors Paris) et MGP (hors communes intra-A86) (voir Tableau 33).

Tableau 33. Indice de corrélation entre les trois indices de défaveur sociale à l'Iris au sein de la MGP selon les 3 sous-zones délimitées par les périmètres ZFE

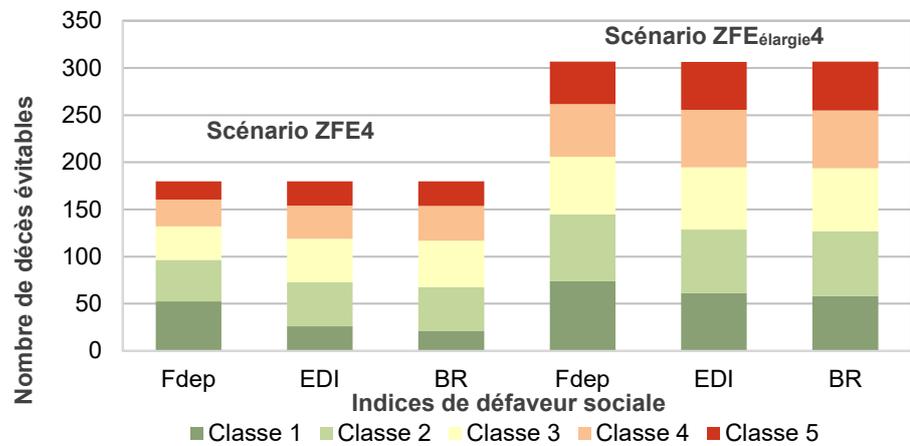
	Fdep	EDI	Bas revenu
Paris			
Fdep	1,00		
EDI	0,79	1,00	
Bas revenu	0,76	0,70	1,00
Intra-A86 hors Paris			
Fdep	1,00		
EDI	0,91	1,00	
Bas revenu	0,89	0,89	1,00
MGP hors intra-A86			
Fdep	1,00		
EDI	0,87	1,00	
Bas revenu	0,86	0,91	1,00

Cette analyse montre une bonne corrélation entre les trois indices avec une variabilité selon la zone considérée. En effet, la corrélation des indices est moins bonne à Paris, près de 0,8 alors qu'elle est de près de 0,9 pour les deux autres sous-zones. Ceci souligne la singularité de la population parisienne et la difficile appréhension de ses spécificités par des indices développés au niveau national.

5.3.2 Bénéfices sanitaires potentiels attendus selon l'indice de défaveur sociale considéré

A titre de comparaison, les nombres de décès potentiellement évitables selon le niveau de défaveur sociale ont été estimés pour les trois indices de défaveur sociale considérés. La figure suivante montre les résultats obtenus pour les scénarios ZFE4 et ZFE_{élargie}4 (Figure 25).

Figure 25. Comparaison des nombres de décès potentiellement évitables chez les plus de 30 ans au sein de la MGP pour deux scénarios (ZFE4 et ZFEélargie4) en fonction du niveau de défaveur sociale selon l'indice considéré (Fdep, EDI et taux de bas revenu)



Grille de lecture : La classe 1 représente la catégorie la plus favorisée (en vert foncé) et la classe 5 la moins favorisée (en rouge)

Ces résultats montrent que les bénéfices estimés selon l'EDI et l'indice de bas revenu sont très proches et diffèrent quelque peu de ceux obtenus en considérant le Fdep. Les bénéfices apparaissent plus équitablement distribués sans toutefois bouleverser la hiérarchie.

6 | DISCUSSION

Des scénarios de mise en œuvre d'une ZFE, reposant sur trois critères principaux : le périmètre, le niveau d'interdiction et la date d'entrée en vigueur du dispositif, ont été fixés a priori. L'impact réel de la mesure en matière de comportements est difficile à prévoir. De plus, les mesures d'accompagnement (mesures compensatoires telles que des aides financières pour le renouvellement de son véhicule, accompagnement des professionnels, stratégie de concertation...), comme les mesures de contrôle, dont on sait qu'elles constituent des facteurs de réussite (Pouponneau *et al.*, 2017), ne sont pas explicitées à ce jour. Des hypothèses ont dû être formulées pour pouvoir conduire les évaluations de cette étude. En particulier, l'analyse conduite ici considère une mise en œuvre du dispositif idéale : respect du calendrier initial, respect de l'interdiction assorti de mesures de contrôle suffisantes. Il est à noter qu'il est attendu que tout décalage de la mise en œuvre dans le temps amoindrisse l'effet de la mesure, du fait du renouvellement naturel du parc automobile, de même que, bien entendu, le non-respect de la restriction, ne serait-ce que par une fraction de la population concernée.

Hors considération de l'effectivité de la mise en œuvre, l'estimation des bénéfices sanitaires attendus est entourée d'incertitudes qui découlent de l'incertitude intrinsèque de chaque variable utilisée pour le calcul et des hypothèses retenues. Ces incertitudes sont discutées ci-après. Par ailleurs, les bénéfices attendus ont été estimés uniquement pour la première année, la temporalité des effets et leur persistance sont également discutées dans ce chapitre. De plus, seuls certains bénéfices sanitaires ont été considérés ici, d'autres bénéfices peuvent être attendus et sont à mettre en perspective avec d'autres impacts. Ces impacts additionnels sont rapidement décrits ci-après. Enfin, les bénéfices attendus sont replacés dans le contexte de l'impact global de la pollution atmosphérique sur la santé.

6.1 Sources d'incertitudes

6.1.1 Estimation des niveaux

Les principales limites à la démarche d'évaluation des concentrations suite à la mise en œuvre d'une ZFE parisienne ou élargie ont fait l'objet d'une identification, et sont détaillées dans le rapport d'Airparif (Airparif, 2018). Elles sont mentionnées succinctement ci-dessous, en spécifiant si possible le sens dans lequel cela influence les résultats (surestimation ou sous-estimation).

Incertitudes liées aux données d'entrée

L'évolution de la capacité du réseau routier n'est pas intégrée dans le modèle de trafic de la DRIEA¹, ce qui entraîne une probable sous-estimation de la diminution du trafic soit de l'ordre de - 3% en moyenne par an sur le réseau magistral².

La répartition du parc roulant (part relative dans le trafic des véhicules particuliers, véhicules utilitaires légers, poids lourds, bus et cars et deux roues motorisés) n'évolue pas entre les différentes étapes de mise en œuvre de la ZFE.

La composition du parc technologique (types de motorisation) est déduite de l'enquête plaques 2014, projetée à horizon 2018 et 2019 à l'aide de données nationales (CITEPA).

¹ Les données de trafic routier utilisées par Airparif ont été fournies par la direction régionale et interdépartementale de l'équipement et de l'aménagement (DRIEA).

² réseau d'autoroutes et de routes nationales

Incertitudes liées aux hypothèses simplificatrices

Les mesures de restriction de circulation sont effectives 24h/24 tous les jours pour les poids-lourds, les bus et les cars ; de 8 à 20h00 les jours ouvrés seulement pour les véhicules légers. Le distinguo a été fait dans les calculs entre jours ouvrés et week-ends. En revanche, les calculs d'émissions ont été réalisés en supposant que le parc technologique évolue de la même manière tout au long de la journée. Cette simplification induit une surestimation des gains d'émissions liés à la ZFE, probablement mineure car 70 % des kilomètres parcourus en Île-de-France le sont dans la plage horaire 8-20 heures.

Concernant l'intégration des niveaux de fond, la méthodologie considère une diminution relative du niveau de fond homogène et strictement délimitée par la ZFE. Pour une ZFE parisienne, l'influence de la réduction des émissions sur le niveau de fond est homogène sur Paris. De la même manière en dehors de la ZFE, l'impact de la ZFE est homogène sur le reste de l'Île-de-France alors que la réduction des concentrations de fond est certainement plus importante au plus près de la ZFE et diminue en s'en éloignant. Ainsi, les gains liés à une ZFE sont probablement légèrement sous-estimés près de sa frontière et surestimés loin de celle-ci.

Pour les véhicules légers concernés par la restriction de circulation qui ont la possibilité de modifier leur itinéraire, le taux de changement de véhicules est supposé de 70 %. Pour le reste des véhicules légers concernés, soit 30 %, un report sur les transports en commun et les modes doux ou un changement d'itinéraire pour éviter la ZFE est supposé. A dire d'expert, ce chiffre de 70 % est sans doute minorant, si l'on se base notamment sur les retours d'expérience collectés par l'ADEME. Cela permet cependant de maximiser les éventuels phénomènes de reports au plus près de la ZFE.

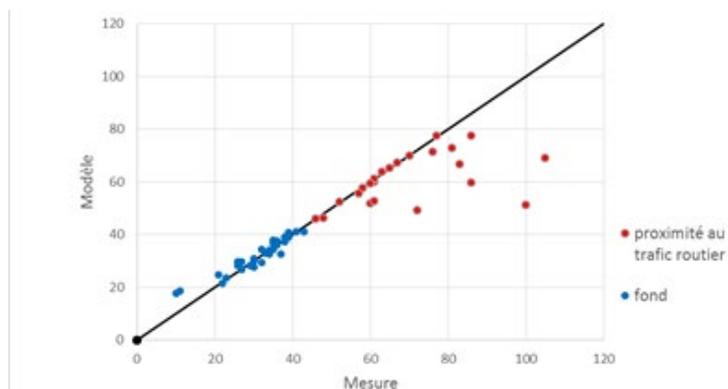
Enfin, le taux de respect est pris égal à 100 %, ce qui a pour conséquence de surestimer les gains obtenus.

Incertitudes liées à la modélisation

Des comparaisons entre les estimations issues des modèles pour la situation actuelle et les concentrations mesurées montrent une bonne adéquation du modèle, hormis à proximité de certains axes routiers, pour les niveaux les plus élevés, où les valeurs prédites ont tendance à être sous-estimées. Toutefois, il est généralement admis que ce biais systématique affecte peu l'estimation du nombre attendu de cas évités car elle se base sur des différences de concentrations, ce qui minimise les écarts.

La Figure 26 illustre la comparaison entre les résultats obtenus par le modèle et la mesure sur les sites permanents (réseau automatique) et temporaires (12 semaines par tubes à diffusion : puis reconstitution de la moyenne annuelle) du réseau Airparif. Cette comparaison est réalisée sur la moyenne annuelle de NO₂ de 2013.

Figure 26. Comparaison des niveaux de NO₂ estimés par le modèle et ceux mesurés (moyenne annuelle en µg/m³)



Globalement, les résultats du système de modélisation à l'échelle de la moyenne annuelle présentent une bonne représentation des teneurs de fond hormis en zone rurale où une

suresimation est à noter. A l'inverse, une sous-estimation en situation de proximité au trafic routier est notable pour le NO₂ sur les stations présentant les moyennes annuelles mesurées les plus élevées. Des améliorations ont été apportées au système de modélisation permettant de réduire la sous-estimation des concentrations à proximité du trafic routier.

6.1.2 Estimation des expositions

Données de population et projections démographiques

Les données de population utilisées sont basées sur un travail de transposition des données du recensement de l'Insee à l'Iris datant de 2012 au bâtiment sur la base de la connaissance du mode d'occupation des sols. Outre l'ancienneté des données, ces deux sources de données sont elles-mêmes soumises à des incertitudes. Il n'y a pas de raison de penser que cette source de données engendre un biais dans l'estimation de l'impact, une fois les résultats agrégés à plus large échelle. Toutefois, s'agissant de la population des ménages, l'effectif est sous-estimé par rapport à la population municipale (exclusion des personnes vivant en communauté ou sans domicile fixe, foyers de travailleurs, maisons de retraite, résidences universitaires, maisons de détention...). La sous-estimation reste toutefois mineure (de l'ordre de 2 % à Paris par exemple).

La structure par âge de la population est susceptible d'évoluer avec, par exemple, une population vieillissante à Paris. Des évolutions démographiques ont été appliquées afin d'ajuster l'estimation de la population exposée. Les analyses de sensibilité montrent que le résultat est peu sensible à ce paramètre (voir § 5.2). En revanche les taux d'évolution appliqués n'étaient disponibles qu'au département, et donc ne reflètent que des évolutions moyennes, des évolutions plus prononcées peuvent localement se produire, en particulier dans le cadre de nouveaux aménagements qui notamment, augmentent l'offre de logements ou modifient la composition de la population.

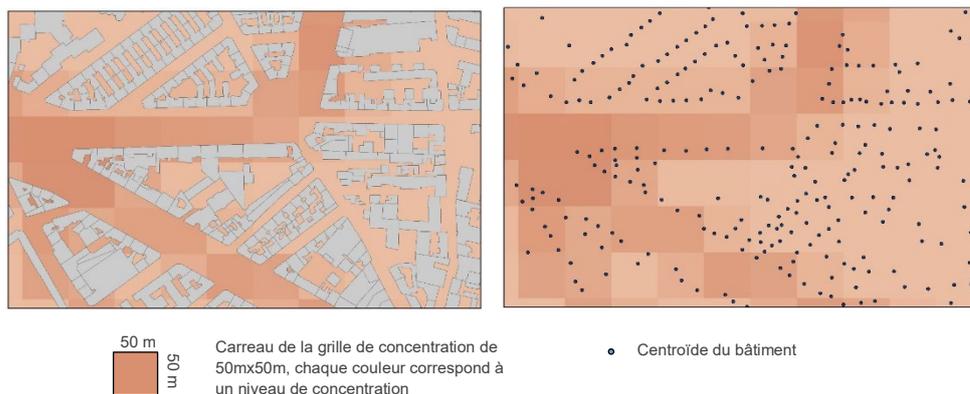
Exposition résidentielle et croisements

L'estimation des bénéfices est basée sur l'estimation de l'exposition de la population résidente, or les populations fréquentent quotidiennement de nombreux lieux. Ainsi le lieu de résidence ne reflète qu'une partie de l'exposition individuelle. En moyenne, les individus peuvent être plus ou moins exposés par rapport au niveau d'exposition estimé à leur domicile. Ainsi, pour certains individus, la diminution de l'exposition est surestimée, pour d'autres elle est sous-estimée. Il n'y a pas raison de penser qu'en moyenne l'erreur soit différentielle et entraîne une surestimation de l'impact. Au contraire, étant donné que la mesure agit sur les émissions du trafic routier, l'exposition des automobilistes et de leurs passagers est susceptible d'être sensiblement diminuée. Or des études ont montré que ce type de déplacement avait tendance à majorer l'exposition individuelle journalière moyenne. Or ce profil d'exposition n'a pas été considéré spécifiquement, ce qui pourrait conduire à une sous-estimation des gains. Toutefois, la plupart des études épidémiologiques estime l'exposition à l'adresse du lieu de résidence et c'est le cas pour la grande majorité des études dont sont issues les relations C-R utilisées pour le calcul. Il y a donc de ce point de vue une bonne adéquation entre les méthodes d'estimation de l'exposition.

L'étape de croisement avec les données de pollution apporte également de l'incertitude avec un possible effet « maille ». Le choix a été retenu d'effectuer ces croisements en considérant le centroïde du bâtiment¹. Cette approche a été privilégiée par rapport à la méthode surfacique pour des raisons de simplification. En effet, dans le cas de la méthode surfacique les effectifs de population correspondant à chaque bâtiment sont répartis au prorata de la surface intersectée avec les mailles de la grille Airparif. Un test a été effectué sur le 12^e arrondissement de Paris afin de documenter les différences éventuelles d'estimation de l'exposition (cf. Figure 25).

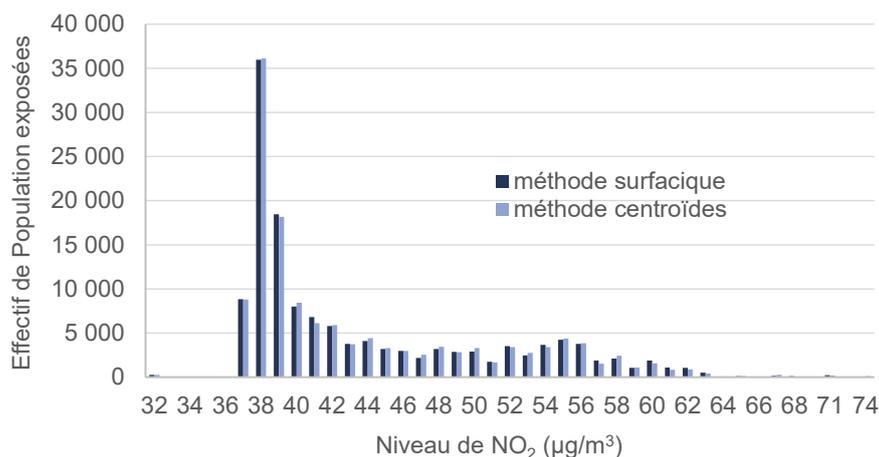
¹ Le centroïde d'un bâtiment correspond à son centre géographique, il a pour coordonnées la moyenne des coordonnées géographiques de ses sommets.

Figure 27. Croisement de la population résidente avec la grille de concentration en NO₂ à 50 m selon deux méthodes (zoom quartier Paris 12^e)



L'effectif de population exposé à chaque incrément de 1 µg/m³ de NO₂ a été estimé selon les deux approches. La Figure 28 présente les résultats du test. Elle montre que les résultats des deux méthodes sont très proches, les différences observées ne varient pas de plus de 0,5 %.

Figure 28. Effectifs de population des ménages (Paris 12^e) potentiellement exposée à différents niveaux de NO₂ estimés selon deux méthodes



6.1.3 Choix des relations concentration-risque

Le choix de la relation C-R influence particulièrement les résultats. Les connaissances progressent en continu, c'est pourquoi, il apparaît important de reconsidérer les préconisations ou les choix établis dans des travaux similaires en s'appuyant sur un examen attentif de la littérature scientifique. Ainsi, les recommandations de l'OMS en matière de choix de relation C-R (OMS, 2013) ainsi que les choix effectués dans le cadre d'autres démarches d'EQIS telles que celle menée récemment par Public Health England (Public Health England, 2018) ont été examinés et mis en perspective avec le contexte du dispositif évalué et les données disponibles. Ainsi, dans le cadre de cette étude, pour une meilleure adéquation avec la population et les expositions, il a été fait le choix de sélectionner des relations C-R estimées à partir de cohortes européennes, incluant si possible des populations françaises. Ces cohortes européennes représentent toutefois des effectifs de population relativement faibles (Lipfert, 2016) avec pour conséquence de fournir des relations C-R à la limite de la significativité. Afin de réduire l'incertitude, il a été fait par ailleurs le choix d'inclure plusieurs résultats d'études épidémiologiques et d'en combiner les estimations de risque au travers d'une méta-analyse.

Les indicateurs d'exposition utilisés ne sont pas des polluants uniquement liés au trafic routier or les travaux montrent des niveaux de risque plus élevés du fait de la spécificité des expositions à proximité des axes routiers. Ceci est susceptible d'entraîner une sous-estimation des bénéfices attribuables au dispositif. Toutefois, la population des cohortes considérées est essentiellement urbaine, ainsi les risques estimés intègrent la composante « trafic routier » de l'exposition aux polluants atmosphériques.

Comme recommandé par HRAPIE (OMS, 2013), et le COMEAP (Public Health England, 2018), le NO₂ et les PM_{2,5} constituent de bons indicateurs d'exposition dans le cadre d'EQIS compte-tenu de la robustesse de la relation C-R pour les indicateurs sanitaires étudiés et de la plausibilité biologique des mécanismes d'action de ces polluants sur la santé. L'analyse principale est basée sur l'exposition au NO₂ car ce polluant constitue un meilleur traceur du trafic routier que les PM_{2,5} et donc reflète mieux l'impact du trafic sur la pollution de proximité. Ces deux polluants sont émis concomitamment par les systèmes de combustion et, même si d'autres sources importantes contribuent aux niveaux de PM_{2,5}, l'analyse d'Airparif montre que le dispositif a aussi un impact sur ce polluant. Les effets respectifs de ces deux polluants ne sont pas indépendants, notamment du fait de corrélations importantes entre les niveaux de PM_{2,5} et de NO₂, particulièrement à proximité du trafic routier. Dans les études épidémiologiques, les estimations de risque ajustées sur un deuxième polluant (analyse bi-polluant) montrent des baisses de risque variant entre 30 et 60 % (Public Health England, 2018). Dans un rapport de l'OMS, il est indiqué la possibilité d'estimer de manière cumulée l'impact de ces deux polluants en prenant la précaution d'appliquer une baisse du risque lié au NO₂ de 33 % (OMS, 2014). Dans le cadre de cette étude, compte-tenu du manque de certitudes sur l'interdépendance des effets de ces deux polluants et la spécificité du dispositif évalué (émissions du trafic routier), il a été fait le choix d'estimer séparément l'impact sanitaire de ces deux polluants. Ce choix peut conduire à une sous-estimation des bénéfices. L'analyse de sensibilité réalisée à partir de l'estimation de l'exposition aux PM_{2,5} montre des résultats d'ordre de grandeur similaire.

Les estimations reposent sur l'hypothèse d'un risque sanitaire constant or ce dernier est susceptible d'évoluer, en premier lieu, si la composition de la pollution de l'air se modifie. A cet égard, la mise en œuvre du dispositif modifie la composition du parc automobile et favorise les motorisations basées sur les normes Euro les plus récentes et les véhicules essence. Ces normes, en effet, permettent de réduire les émissions de NO₂ et de PM_{2,5} mais elles pourraient également favoriser l'émission de particules ultrafines. Cela nécessite une vigilance en matière de surveillance de l'évolution des niveaux de ce polluant ainsi que de l'évolution du risque sanitaire. Ce dernier peut évoluer également du fait des évolutions démographiques. Par exemple, le vieillissement de la population peut entraîner sa fragilisation et accentuer le risque. Dans ce cas, les bénéfices seraient sous-estimés. Enfin, des effets synergiques du fait notamment de co-exposition à la chaleur ou aux pollens ont été mis en évidence. Or, dans un contexte de changement climatique, l'exposition aux vagues de chaleurs ainsi qu'aux pollens est susceptible de s'amplifier dans les années à venir. Les bénéfices sanitaires d'une baisse de l'exposition aux polluants atmosphériques, dans ce contexte, seraient donc plus importants.

6.1.4 Définition et recueil des indicateurs sanitaires

A l'inverse des données relatives aux nombres de décès, ou aux nombres d'hospitalisations, qui sont recueillies de manière systématique et présentent à la fois une bonne exhaustivité et une bonne fiabilité, les données qui permettent d'approcher le nombre de nouveaux cas annuel de pathologies chroniques étudiées, nouveaux cas d'asthmes et nouveaux cas de cardiopathie ischémiques, sont mal connues. Ainsi, des indicateurs ont été définis pour approcher de manière indirecte ces taux d'incidence. Leur pertinence est discutée ci-après.

Définition du nombre de nouveaux cas incidents d'asthme et de recours aux urgences pour asthme chez l'enfant

• Nouveaux cas d'asthme

La relation C-R utilisée pour estimer l'impact sanitaire est issue d'une méta-analyse de résultats d'études de cohorte. Il s'agit de cohortes de naissance ou bien d'enfants pour lesquels le critère d'inclusion correspond à une tranche d'âge prédéterminée. Ainsi, les relations entre l'exposition et la survenue de la pathologie examinée sont établies pour des durées d'exposition et de suivi variables. Ces critères ont été pris en compte pour définir la population à laquelle cette relation a été appliquée dans le cadre de cette EQIS. Ainsi, l'âge de survenue de la pathologie est variable et des questions persistent notamment sur la caractérisation de la fenêtre d'exposition critique (Ranciere *et al.*, 2016; Khreis *et al.*, 2017). Les résultats des études recensées dans la littérature sont cohérents et renforcent l'hypothèse d'un lien causal entre exposition à la pollution liée au trafic routier durant l'enfance et la survenue d'asthme (Khreis *et al.*, 2016). Des mécanismes d'action ont par ailleurs été proposés (Guarnieri *et al.*, 2014). Toutefois, l'hypothèse que ces expositions ne font qu'accélérer le développement de l'asthme ou qu'accentuent la sévérité de la pathologie qui devient ainsi suffisamment apparente pour être diagnostiquée ne peut être écartée.

Le nombre annuel de nouveaux cas d'asthme chez l'enfant en France n'est pas connu. De plus, d'une étude à l'autre, la définition de l'asthme est hétérogène. Elle repose sur un ou plusieurs critères parmi les suivants : déclaration (questionnaire parental), diagnostic médical, survenue de symptômes, prise de traitement, tests de provocation bronchique. Dans le cadre de notre étude, le nombre de cas incidents d'asthme a été estimé à partir des consommations de médicaments de la classe ATC R03 (médicaments pour syndromes obstructifs des voies aériennes). Or les médicaments traceurs utilisés manquent de spécificité. En effet, il a été constaté que la prévalence du traitement par ces médicaments était supérieure à la prévalence estimée par les enquêtes déclaratives, ces médicaments étant vraisemblablement prescrits pour d'autres pathologies respiratoires. Pour accroître la spécificité de l'indicateur, la définition d'un cas doit vérifier le critère « au moins trois prescriptions » dans l'année, afin d'écartier les cas de prescription hors contexte d'une maladie chronique. Afin de sélectionner uniquement les cas incidents, les cas ayant bénéficiés d'un tel traitement dans les deux années précédentes ont été exclus. Il n'a pas été possible de remonter au-delà de deux ans car les données sont archivées et leur accès restreint. Au final, le taux moyen de nouveaux cas d'asthme dans la zone d'étude s'élevait à 4,5 %. En France, seule la prévalence de l'asthme chez l'enfant ainsi que l'incidence cumulée sont connues et ont pu être approchées au travers de données d'enquêtes réalisées ponctuellement. L'incidence cumulée de l'asthme a été ainsi estimée à environ 10 % chez l'enfant âgé de moins de 10 ans (Delmas *et al.*, 2010). La prévalence de l'asthme actuel s'élève à environ 8,5 % chez les élèves en classe de CM2 et de troisième. En l'absence d'informations sur le taux de rémission de la maladie, il est difficile de relier prévalence et incidence mais le taux de nouveaux cas d'asthme estimé ne semble pas discordant avec le taux de prévalence mentionné. Par ailleurs, une étude danoise, la seule à avoir estimé l'incidence de l'asthme chez les enfants (âgés de 0 à 15 ans), indiquait une incidence de l'ordre de 1,7 pour 100 personnes-années (Henriksen *et al.*, 2015). Elle montrait également que l'incidence était la plus élevée chez les 0-1 an, de l'ordre de 4,3 pour 100 personnes-années. Cette incidence était estimée à partir des données de consommation de médicaments et de consultations hospitalières et aux urgences. Dans le cadre de notre étude, le pourcentage de nouveaux cas annuels permet d'approcher une incidence annuelle de l'asthme chez les 0-17 ans dont l'ordre de grandeur paraît élevé par rapport aux chiffres disponibles. Le fait que notre population d'étude a la particularité d'être exclusivement citadine, contrairement à la population danoise prise dans son ensemble, peut expliquer, au moins en partie, cette différence. Toutefois, on ne peut exclure que la construction de l'indicateur ait conduit à une surévaluation du nombre de nouveaux cas d'asthme. Notre indicateur peut encore manquer de spécificité, notamment pour les 0 - 1 ans, pour lesquels la prescription de médicaments antiasthmiques pour d'autres pathologies que l'asthme (bronchite, bronchiolite...) est particulièrement fréquente.

L'analyse détaillée (non conduite ici) des taux de mise sous traitement antiasthmatique par tranche d'âge permettrait d'explorer cette hypothèse.

- **Recours aux urgences**

Dans ce cas, la définition de l'indicateur et le choix de la tranche d'âge est en bonne adéquation avec les études épidémiologiques mobilisées pour établir la relation C-R. Cependant, la source de données utilisée ne recense pas de manière exhaustive les recours aux urgences. En effet, le taux de codage des diagnostics s'élève entre 57 % pour Paris et 87 % pour la Seine-Saint-Denis (voir Tableau 20). Le taux pondéré par la population est de 70 % pour la MGP. Ainsi, l'impact estimé est sous-évalué, au moins de l'ordre de 30 %, étant donné que les taux de codage les moins bons sont enregistrés pour les hôpitaux parisiens où les effets de la mise en œuvre du dispositif sont les plus importants.

Définition du nombre de nouveaux cas de cardiopathie ischémique chez l'adulte

Les cardiopathies ischémiques regroupent les infarctus du myocarde, les angines de poitrine, et les autres cardiopathies ischémiques aiguës. Les nouveaux cas de cardiopathie ischémique ont été estimés à partir des hospitalisations. Or ces pathologies ne justifient pas systématiquement une hospitalisation hormis pour les infarctus du myocarde. Dans ce dernier cas, par ailleurs, il ne peut être exclu la survenue d'un décès hors hôpital qui aurait pu être considéré comme cas incident. Le nombre de cas incidents approché par les hospitalisations a été ainsi estimé à 180 pour 100 000 habitants de 40 à 74 ans. Il s'agit d'une estimation basse, comme le montre la mise en perspective avec les données issues de registres. En France, seuls trois registres des cardiopathies ischémiques existent et montrent d'importantes disparités géographiques. Par exemple, celui de la communauté urbaine de Lille (population essentiellement citadine), pour l'année 2012, estime un taux standardisé d'événements ischémiques de 493 pour 100 000 hommes et 141 pour 100 000 femmes.

L'âge moyen d'inclusion au sein des cohortes dont est issue la relation C-R retenue pour l'analyse se situe entre 44 et 74 ans (Cesaroni *et al.*, 2014). La moyenne pondérée par l'effectif de la cohorte s'élevait à 53 ans, pour une durée moyenne de suivi de 11,5 ans. Ainsi, la tranche d'âge 40-74 ans retenue pour l'analyse est en bonne adéquation. Une analyse restreinte à la tranche 60-74 ans montre un risque plus élevé pour les plus âgés en lien avec l'exposition aux PM_{2,5}. Or, par exemple, dans le cas de l'infarctus du myocarde, la tranche d'âge 65-74 ans regroupe à elle seule 46 % des événements enregistrés dans le registre (Wagner *et al.*, 2011). Il a été fait le choix, toutefois, de retenir la relation estimée sans cette restriction d'âge pour l'appliquer à une classe d'âge plus large.

Estimation du nombre de cas à la commune ou au département

Un taux moyen a été appliqué à tous les bâtiments au sein d'une même commune alors que la distribution des cas est susceptible d'être hétérogène. Cette distribution peut être influencée par de multiples déterminants dont des facteurs environnementaux mais aussi sociodémographiques. L'impact de la mise en œuvre du dispositif étant plus marqué à proximité de ces axes, la question est de savoir en quelle mesure le taux d'événements sanitaires dans la population concernée diverge par rapport au taux moyen. Il s'avère difficile de généraliser des hypothèses, toutefois, si l'on considère que la proximité aux axes de trafic routier constitue un facteur de risque non négligeable de survenue des pathologies étudiées, cela peut conduire à une sous-estimation de l'impact sanitaire.

Cette analyse s'applique d'autant plus aux cas de recours aux urgences pour asthme dont l'incidence a été estimée au département.

Evolution du poids des autres facteurs

D'autres facteurs, tels que des changements démographiques, socio-économiques, comportementaux et d'accès aux soins... peuvent entraîner une évolution du nombre de cas attendus dans la population. Ces évolutions peuvent influencer dans un sens ou dans l'autre les bénéfices attendus. L'analyse produite ici se base sur l'hypothèse d'un taux constant de pathologies donc un scénario considérant « toutes choses égales par ailleurs ».

6.2 Temporalité et persistance des effets

Dans le cas des effets chroniques, les bénéfices estimés s'appliquent dès la première année car il s'agit de cas incidents. En effet, une baisse de l'exposition aux polluants atmosphériques entraîne une diminution du risque de survenue de la pathologie ou de décès qui, à l'échelle de la population, se traduit par des cas évités immédiatement.

Dans le cas des exacerbations, le bénéfice attendu est également immédiat. La baisse des niveaux chroniques entraîne mécaniquement une baisse des niveaux quotidiens et une diminution du risque sanitaire se traduisant par une baisse immédiate des recours aux urgences et des hospitalisations. Cette baisse se cumule avec celle des recours évités du fait des cas de pathologies chroniques non survenus grâce à la diminution des niveaux de pollution liée à la mise en œuvre de la ZFE. Ces recours évités sont également immédiats et ont été estimés uniquement pour la première année or ils devraient perdurer les années suivantes (par définition, les pathologies chroniques se traduisent par des exacerbations au long court).

Par ailleurs, tant que l'effet « accélération du renouvellement du parc » prime sur le renouvellement naturel, des bénéfices supplémentaires sont attendus. A ce titre, Airparif estime que l'anticipation sur le renouvellement naturel du parc est de 5 ans pour l'étape 3 de la ZFE et de 9 ans pour l'étape 4 (Airparif, 2018). Cette anticipation devrait se traduire par la persistance d'une baisse annuelle de l'exposition par rapport au scénario fil de l'eau les années suivantes. Cette baisse n'ayant pas été estimée, les bénéfices sanitaires (cas additionnels de pathologies chroniques et de recours aux soins évités) n'ont pas pu être estimés non plus. Même si cette baisse est moindre les années suivantes, les bénéfices cumulés restent toutefois largement sous-estimés dans le cadre de cette étude.

6.3 Impacts non évalués

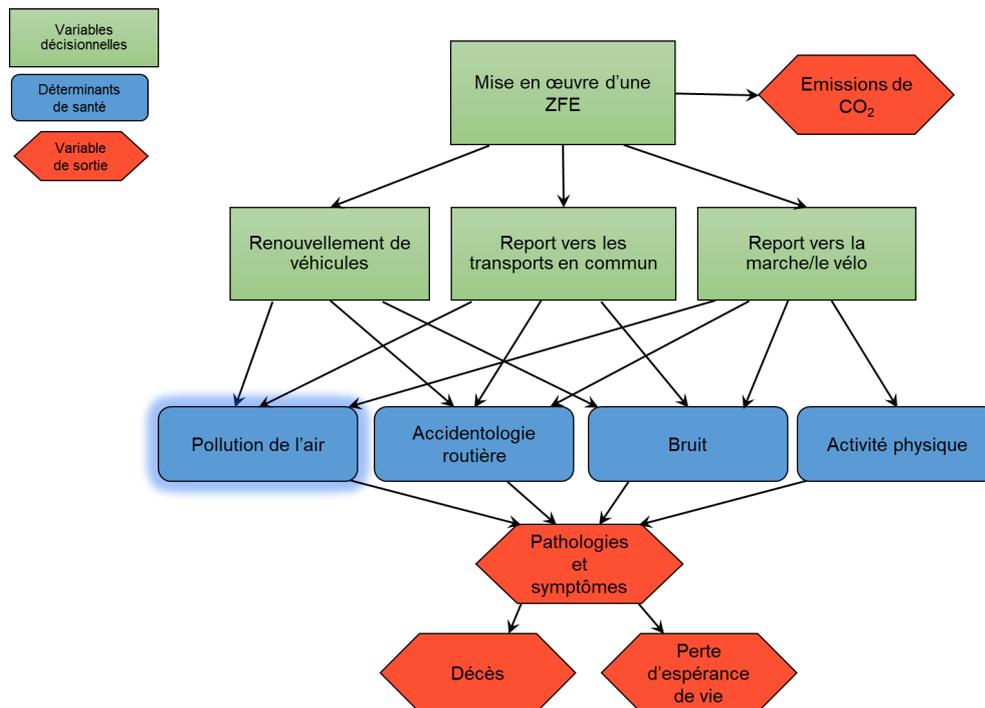
6.3.1 Autres impacts sanitaires

Cette évaluation porte sur un choix restreint d'indicateurs sanitaires. Ils ont été sélectionnés pour illustrer les bénéfices attendus au sein de différentes catégories de population en tenant compte simultanément du niveau de certitude concernant le lien de causalité entre l'exposition et la pathologie, et de la disponibilité des indicateurs sanitaires qui est déterminante dans ce choix. Par ailleurs, l'asthme et les pathologies cardiovasculaires (dont les cardiopathies ischémiques aiguës étudiées ici) sont des maladies chroniques parmi les plus répandues. De plus, pour l'asthme chez les enfants, la prévalence est en augmentation ces dernières années (Delmas et al., 2017). Les naissances de faibles poids reflètent un enjeu sanitaire lié à une population particulièrement vulnérable avec des répercussions importantes pour cette génération. En effet, les enfants de faible poids de naissance sont plus à risque de développer une pathologie respiratoire et, d'une manière générale, d'avoir une moins bonne santé à l'âge adulte (Gluckman et al., 2008; Veras et al., 2017).

Néanmoins, d'autres bénéfices auraient pu être quantifiés si un plus large spectre de pathologies en lien avéré ou suspecté avec la pollution avait été considéré ainsi que leur incidence sur la consommation de soins et le bien-être. En effet, la mise en œuvre de ce dispositif permettrait également d'éviter des nouveaux cas de pathologies cardio-vasculaires autres que la cardiopathie ischémique, de naissances prématurées, de troubles du développement de l'enfant, de cancer du poumon, de broncho-pneumopathie chronique obstructive, de maladies neurodégénératives, de diabète... et toutes leurs implications en matière de consultations médicales, recours aux urgences, d'admissions hospitalières, d'arrêts de travail, consommation de médicaments...

Par ailleurs, seuls les bénéfices sanitaires liés à la diminution de l'exposition aux polluants atmosphériques ont été évalués or la mise en œuvre de ce dispositif est susceptible d'agir sur d'autres déterminants de santé qui n'ont pas été examinés ici. Le schéma suivant résume les principaux modes d'action du dispositif sur les déterminants de santé (Figure 29) qui sont explicités ci-après.

Figure 29. Schéma conceptuel des modes d'action du dispositif sur les déterminants de santé et leurs bénéfices



Source : adaptation d'après Rojas-Rueda (Rojas-Rueda *et al.*, 2012)

Les éventuels reports modaux de la voiture particulière vers des modes actifs (marche ou vélo) produiraient un accroissement de l'activité physique pour la population concernée avec des bénéfices en termes de pathologies évitées telles que le diabète, les maladies coronariennes, les maladies vasculaires cérébrales, certains cancers... L'éventuelle baisse du trafic routier, ainsi que les meilleures performances des nouvelles motorisations en matière de limitations du niveau sonore, pourraient engendrer une diminution de l'exposition au bruit avec des conséquences directes sur la santé de l'enfant et de l'adulte (OMS, 2011). De même, l'éventuelle baisse du trafic routier pourrait entraîner une diminution de l'accidentologie de la route accompagnée d'une baisse de la gravité des accidents du fait de l'amélioration de la sûreté des véhicules pour les plus récents. Par ailleurs, Airparif a montré que la mise en œuvre d'une ZFE engendrerait également des gains d'émission de dioxyde de carbone ayant un effet sur le changement climatique avec également des implications sur la santé (Airparif, 2018).

6.3.2 Impacts socio-économiques

L'impact de la mise en œuvre du dispositif se traduirait également par des impacts socio-économiques qui n'ont pas été évalués dans le cadre de ce travail. Ces impacts sont notamment liés aux coûts du renouvellement des véhicules et aux éventuelles contraintes de déplacement, pour les particuliers et les acteurs économiques. Cette mise en œuvre représenterait également un coût collectif lié aux mesures de contrôles et d'accompagnement éventuelles. Les analyses coûts-bénéfices existantes montrent que deux effets dominent la conclusion : les bénéfices pour la santé de la population et les pertes de valeurs pour les propriétaires des véhicules exclus (Rabl, 2017). Une analyse coûts-bénéfices de l'impact de la mise en œuvre du dispositif permettrait de mettre en perspective les bénéfices directs et indirects pour la santé et la société, et les impacts socio-économiques induits par le dispositif liés notamment aux coûts du renouvellement des véhicules et des éventuelles contraintes de déplacement, pour les particuliers et les acteurs économiques.

6.4 Mise en perspective des bénéfices attendus du dispositif avec les enjeux sanitaires globaux de la pollution de l'air

Les pourcentages de baisse relatifs aux décès totaux peuvent laisser penser que les bénéfices sanitaires de la mise en œuvre de la ZFE sont relativement faibles (0,6 % pour le scénario le plus favorable cf. Tableau 21 p. 45), mais il convient de positionner les bénéfices sanitaires de ce dispositif par rapport à l'enjeu sanitaire global lié à la pollution atmosphérique en Île-de-France. Pour ce faire, de nouveaux calculs ont permis d'estimer les bénéfices attendus d'une baisse des niveaux de polluants jusqu'à la valeur recommandée par l'OMS en conservant pour référence le scénario fil de l'eau.

Pour le NO₂, la valeur actuellement recommandée par l'OMS s'élève à 40 µg/m³. Néanmoins, la dernière expertise de l'OMS, au vu de la progression des connaissances recommande la valeur¹ de 20 µg/m³ (OMS, 2013).

Afin d'estimer l'impact sanitaire de la pollution de l'air, le nombre de décès attribuables au différentiel entre les concentrations « fil de l'eau » et cette valeur a été estimée selon la même méthode que celle appliquée pour estimer les bénéfices attendus de la mise en œuvre d'une ZFE et pour la même zone d'étude.

Les nombres de décès potentiellement évitables pour les quatre scénarios de mise en œuvre de la ZFE étudiés ont été ensuite rapportés à ces nombres de décès dont la pollution atmosphérique est responsable et sont présentés sous forme de pourcentage dans le tableau ci-dessous (Tableau 34).

Tableau 34. Proportion de décès évitables (chez ≥ 30 ans) du fait de la mise en œuvre de la ZFE selon les scénarios étudiés par rapport aux décès évitables selon un scénario où les niveaux de NO₂ sont inférieurs à 20 µg/m³

Communes	ZFE3	ZFE ^{élargie} 3	ZFE4	ZFE ^{élargie} 4
Paris	2,4 %	2,4 %	4,5 %	4,6 %
intra-A86	1,7 %	2,9 %	3,2 %	5,5 %
MGP*	1,5 %	2,7 %	3,0 %	5,2 %
intra-Francilienne	1,5 %	2,7 %	3,2 %	5,4 %

* inclut aussi les deux communes du 78 situées à l'intérieur de l'A86 (78 640 et 78 686)

Cela représente le potentiel de réduction du nombre des décès attribuables à la pollution atmosphérique lié à la mise en œuvre d'une ZFE. Pour le scénario le plus favorable (ZFE^{élargie}4), ces pourcentages montrent l'impact significatif d'un tel dispositif, avec une baisse de l'ordre de 5 % du nombre des décès dont la pollution de l'air est responsable (scénario NO₂ < 20µg/m³). Cela montre également le chemin qu'il reste à parcourir pour minimiser les risques sanitaires de la pollution atmosphérique en Île-de-France et la nécessité de conjuguer les efforts et d'activer d'autres leviers d'action que ceux basés sur l'amélioration technologique du parc automobile.

¹ Cette valeur n'a pas encore été publiée par l'OMS

7 | CONCLUSION

7.1 Des bénéfices sanitaires attendus et d'autres non estimés

L'ORS Île-de-France a conduit une évaluation quantitative d'impact sanitaire de la mise en œuvre d'une ZFE parisienne et élargie à l'intra-A86 dans le cadre d'une collaboration avec Airparif et Santé publique France. Il s'agit d'une étude inédite qui repose sur des estimations à très fine échelle de l'exposition de la population. Elle s'intéresse aux enfants et aux adultes et porte sur un large panel d'événements sanitaires liés aux expositions à long terme, responsables de décès anticipés et de survenues de pathologies chroniques, mais également aux expositions à court terme qui exacerbent les symptômes de ces pathologies. Les indicateurs sanitaires retenus dans cette étude ont été choisis pour leur lien avéré avec les expositions liées au trafic routier sans chercher à évaluer l'impact de manière exhaustive mais plutôt dans l'optique de comparer plusieurs scénarios. L'évaluation comporte également une analyse de la distribution des bénéfices selon le niveau socio-économique.

Cette évaluation indique des bénéfices sanitaires attendus aussi bien en termes de décès et de pathologies chroniques que d'exacerbations de symptômes de ces pathologies et ce, quel que soit le scénario de mise en œuvre d'une ZFE considéré. Ces bénéfices sont résumés dans le tableau ci-dessous (Tableau 35).

Les enjeux sanitaires relatifs aux indicateurs considérés sont particulièrement importants. En effet, l'asthme et les pathologies cardiovasculaires (dont les cardiopathies ischémiques aiguës étudiées ici) sont des maladies chroniques parmi les plus répandues. Pour l'asthme chez les enfants, la prévalence est, de plus, en augmentation. Les naissances de faibles poids reflètent quant à elle, un enjeu sanitaire lié à une population particulièrement vulnérable ayant des répercussions importantes sur la santé à l'âge adulte. Les pourcentages de réduction estimés dans cette étude montrent que la mise en œuvre de ce dispositif représenterait un levier d'action pour la prévention des pathologies considérées. Ils peuvent atteindre jusqu'à 5 % de baisse de l'ensemble des naissances de faible poids. Ces pourcentages seraient par ailleurs plus importants pour les populations résidant à l'intérieur du périmètre de la zone à faibles émissions définie par le dispositif, du fait de gains de concentration plus élevés.

A titre de comparaison, une méta-analyse de neuf études a estimé que les politiques de lutte anti-tabac basées sur un ensemble de mesures telles que préconisées par l'OMS avaient permis une baisse immédiate de 2,8 % des naissances à terme de faible poids (Faber *et al.*, 2017).

La mise en œuvre de ce dispositif pourrait constituer un levier d'action pour la prévention des pathologies considérées.

Tableau 35. Bénéfices sanitaires annuels attendus pour la population appartenant à la zone d'étude (périmètre intra-Francilienne) selon les scénarios étudiés

Nombres de cas annuels potentiellement évitables et % de réduction		ZFE3	ZFE _{élargie3}	ZFE4	ZFE _{élargie4}
Décès chez les plus de 30 ans	cas	110	200	200	340
	%	0,2 %	0,4 %	0,4 %	0,6 %
Total années de vie gagnée		38 300	66 300	67 500	114 300
Gain d'espérance de vie moyen (en jour)		2	4	4	7
Nouveaux cas de cardiopathies ischémiques chez les 40-74 ans	cas	40	70	70	130
	%	0,6 %	1,0 %	1,0 %	1,8 %
Nouveaux cas d'asthme chez les 0-17 ans	cas	830	1 630	1 540	2 930
	%	0,9 %	1,8 %	1,6 %	3 %
Naissances à terme de faible poids	cas	50	100	90	170
	%	1,5 %	2,9 %	2,7 %	4,9 %
Hospitalisations pour cardiopathie ischémique chez les 40-74 ans	cas	140	240	240	410
	%	0,9 %	1,5 %	1,5 %	2,5 %
Recours aux urgences pour asthme chez les 0-17 ans	cas	190	390	360	700
	%	1 %	2 %	1,7 %	3,4 %

L'exposition aux polluants atmosphériques issus du trafic routier est responsable de la survenue ou de l'aggravation d'un large éventail de pathologies dont seules quelques-unes ont été prises en compte du fait de la disponibilité des informations, les bénéfices sanitaires attendus seraient probablement supérieurs.

Ces résultats permettent d'objectiver l'impact attendu de la mise en œuvre du dispositif en matière de protection de la santé des populations et visent à mieux informer les décideurs et les populations concernées. Ils n'illustrent cependant qu'une partie des bénéfices attendus suite à la mise en œuvre d'une ZFE. L'exposition aux polluants de l'air, et en particulier à ceux liés au trafic routier, est responsable de la survenue ou aggravation d'un large éventail de pathologies dont seules quelques-unes ont été prises en compte du fait de la disponibilité des informations nécessaires (relations C-R et données sanitaires). De plus, sont pris en compte uniquement les effets liés à la diminution attendue des expositions (d'autres effets potentiels, tels que ceux en lien avec l'augmentation de l'activité physique liés aux éventuels reports modaux sur les mobilités actives, ou bien ceux liés à la diminution de l'exposition au bruit routier, n'ont pas été évalués ici). Il s'agit donc d'une estimation basse des bénéfices sanitaires attendus d'autant plus que les bénéfices, estimés uniquement pour la première année, seraient susceptibles de se prolonger dans le temps tant que perdure l'effet « accélérateur du renouvellement du parc » du dispositif. Au-delà de cette considération, l'effet sur les exacerbations serait susceptible de perdurer plusieurs années du fait des cas de pathologies chroniques définitivement évités. Ainsi, le nombre de recours aux urgences et aux hospitalisations évités, cumulés sur plusieurs années, seraient plus importants.

Cette évaluation estime les bénéfices sanitaires attendus selon une mise en œuvre idéale du dispositif. Hors considération de l'effectivité de la mise en œuvre, comme pour tout calcul de cette nature, ces estimations sont soumises à des incertitudes qui ont été explicitées dans ce rapport. D'une manière générale, les choix effectués tendent à une sous-estimation des bénéfices sanitaires attendus.

7.2 Des bénéfices sanitaires accrus et une plus grande équité sociale pour un périmètre élargi

Les résultats montrent également l'influence de l'étendue de la ZFE et du niveau de restriction des véhicules polluants sur l'amplitude des bénéfices sanitaires. En effet, ils montrent que les populations résidant au-delà du périmètre de la ZFE bénéficieraient aussi d'une amélioration de leur santé. Les restrictions de circulation ne s'appliquent pas seulement aux populations résidant à l'intérieur de la ZFE mais aussi aux populations résidant en dehors et devant se rendre quotidiennement dans le cœur de l'agglomération, ainsi ce résultat est important à souligner.

L'équité du dispositif en matière de décès et de cas d'asthme évités a été examinée au sein de la Métropole du Grand Paris. Cette analyse montre que les bénéfices en matière de décès seraient plus importants pour la fraction de population la plus favorisée. Cela reflète le gradient de défaveur sociale entre Paris et le reste de la MGP qui est inversement proportionnel au gradient d'amélioration de la qualité de l'air attendu. Ces différences tendent à être surestimées car le même risque a été appliqué à toutes les sous-catégories de population or de nombreuses études montrent que les risques pour les catégories les moins favorisées sont souvent plus élevés. En conséquence, les bénéfices attendus pour ces populations sont probablement sous-estimés ici. L'analyse montre également que l'élargissement du périmètre de la ZFE à l'A86 tendrait à minimiser ces écarts, ce qui va dans le sens d'une plus grande équité sociale. Dans le cas de l'asthme, cette différence se manifeste au profit des populations les plus défavorisées, notamment pour le périmètre intra-A86, du fait du nombre plus important de jeunes exposés et d'un taux d'asthme plus importants dans cette population.

La distribution des bénéfices selon le niveau socio-économique reflète le gradient de défaveur sociale entre Paris et le reste de la MGP qui est inversement proportionnel au gradient d'amélioration de la qualité de l'air.

7.3 Mise en perspective

Cette évaluation porte sur différents scénarios s'inscrivant dans un calendrier spécifique. Un décalage important de la mise en œuvre d'une ZFE dans le temps serait susceptible de réduire l'amplitude des bénéfices sanitaires car l'action sur le renouvellement du parc routier serait moindre par rapport au fil de l'eau et plus tardive. En tout état de cause, une nouvelle évaluation serait nécessaire avec une mise à jour des hypothèses de travail. A ce titre, les développements méthodologiques présentés ici pourront appuyer l'étude de préfiguration d'une ZFE élargie aux contours de l'autoroute A86, menée actuellement par la Métropole du Grand Paris et ses partenaires dans le cadre de l'appel à projet « Villes respirables en 5 ans » soutenus par le ministère de la Transition écologique et solidaire. Des estimations d'impact additionnelles pourront être réalisées pour les nouveaux scénarios examinés dans ce contexte.

Il convient de repositionner les bénéfices sanitaires attendus estimés dans cette étude par rapport à l'enjeu sanitaire global lié à la pollution atmosphérique en Île-de-France. Ainsi le potentiel de réduction du nombre des décès attribuables à la pollution atmosphérique lié à la mise en œuvre d'une ZFE pour le scénario le plus favorable montre une baisse de l'ordre de 5 % du nombre des décès évitables par une amélioration de la qualité de l'air jusqu'à la valeur recommandée pour le NO₂ par l'OMS (20 µg/m³)¹.

L'ensemble des bénéfices sanitaires attendus estimés dans cette étude serait également à mettre en perspective avec les autres impacts attendus du dispositif, non évalués dans le cadre de ce travail. Une analyse coûts-bénéfices de l'impact de la mise en œuvre du dispositif permettrait de mettre en perspective les bénéfices directs et indirects pour la santé et la société, et les impacts socio-économiques induits, liés notamment aux coûts du renouvellement des véhicules et des éventuelles contraintes de déplacement, pour les particuliers et les acteurs économiques.

¹ Cette valeur n'a pas encore été publiée par l'OMS.

Enfin, ce travail innovant, issue d'une collaboration fructueuse entre l'ORS Île-de-France, Santé publique France et Airparif, permettra de consolider des méthodes d'évaluation applicables à d'autres facteurs de risque environnementaux et à d'autres dispositifs de réduction de la pollution atmosphérique en France en vue d'encourager leur développement et d'accompagner leur mise en œuvre et leur dimensionnement.

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

2RM : Deux-roues motorisés

ACP : Analyse en composante principale

APHEKOM : *Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe*

ARS : Agence régionale de santé

ATC : Anatomique, thérapeutique et chimique (système de classification)

BR : Bas revenu

CépiDC : Centre d'épidémiologie sur les causes médicales décès

CIM : Classification internationale des maladies

Cire : Cellule interrégionale d'épidémiologie

CMU-C : Couverture maladie universelle complémentaire

CNAM-TS : Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés

C-R : Concentration-risque

CSP : Catégorie socio-professionnelle

DGI : Direction générale des impôts

DP : Diagnostic principal

Driea : Direction régionale et interdépartementale de l'équipement et de l'aménagement

EDI : *European Deprivation Index*

EQIS : Evaluation quantitative d'impact sanitaire

ERFS : Enquête revenus fiscaux et sociaux

Erpurs : Évaluation des risques de la pollution urbaine sur la santé

ESCAPE : *European Study of Cohorts for Air Pollution Effects*

EU-SILC : *European Union – Statistics on Income and Living Conditions*

FA : Fraction attribuable

HRAPIE : Health Risks of Air Pollution in Europe

IAU : Institut d'aménagement et d'urbanisme

IC : Intervalle de confiance

IDF : Île-de-France

IGN : Institut national de l'information géographique et forestière

Insee : Institut national de la statistique et des études économiques

Inserm : Institut national de la santé et de la recherche médicale

Iris : Îlots regroupés pour l'information statistique

LEZ : *Low Emission Zones*

MCO : Médecine, chirurgie, obstétrique

MGP : Métropole du Grand Paris

Mos : Mode d'occupation des sols

NO₂ : Dioxyde d'azote

OMS : Organisation mondiale de la santé

ORS : Observatoire régional de santé

Oscour® : Organisation de la surveillance coordonnée des urgences

PL : Poids lourd

PM_{2,5} : *Particulate matter* (diamètre aérodynamique ≤ 2,5 µm)

PMSI : Programme de médicalisation des systèmes d'information

PPA : Plan de protection de l'atmosphère

RP : Recensement de la population

RR : Risque relatif

RSA : Résumé de sortie anonymisé

RUM : Résumé d'unité médicale

SA : Semaine d'aménorrhée

Sdrif : Schéma directeur de la Région Île-de-France

SRCV : Statistiques sur Revenus et Conditions de vie

TC : Transport en commun

TUU : Tranche d'unité urbaine

UC : Unité de consommation

VP : Véhicule particulier

VUL : Véhicule utilitaire léger

WHO : *World Health Organization*

ZAPA : Zone d'actions prioritaires pour l'air

ZBE : Zone à basses émissions

ZFE : Zone à faibles émissions

ZCR : Zone à circulation restreinte

ANNEXES

Annexe 1 : Composition communale de la zone d'étude et de ses sous-périmètres

Tableau 36. Liste des communes appartenant à chaque sous-périmètre

Paris	A86	MGP	Francilienne
Paris 1er (75101)	Vélizy-Villacoublay (78640)	Athis-Mons (91027)	Annet-sur-Marne (77005)
Paris 2e (75102)	Viroflay (78686)	Juvis-sur-Orge (91326)	Brie-Comte-Robert (77053)
Paris 3e (75103)	Asnières-sur-Seine (92004)	Morangis (91432)	Brou-sur-Chantereine (77055)
Paris 4e (75104)	Bagneux (92007)	Paray-Vieille-Poste (91479)	Bussy-Saint-Georges (77058)
Paris 5e (75105)	Bois-Colombes (92009)	Savigny-sur-Orge (91589)	Bussy-Saint-Martin (77059)
Paris 6e (75106)	Boulogne-Billancourt (92012)	Viry-Châtillon (91687)	Carnetin (77062)
Paris 7e (75107)	Bourg-la-Reine (92014)	Antony (92002)	Champs-sur-Marne (77083)
Paris 8e (75108)	Châtenay-Malabry (92019)	Villeneuve-la-Garenne (92078)	Chelles (77108)
Paris 9e (75109)	Châtillon (92020)	Aulnay-sous-Bois (93005)	Chevry-Cossigny (77114)
Paris 10e (75110)	Chaville (92022)	Le Blanc-Mesnil (93007)	Claye-Souilly (77118)
Paris 11e (75111)	Clamart (92023)	Bondy (93010)	Collégien (77121)
Paris 12e (75112)	Clichy (92024)	Le Bourget (93013)	Combs-la-Ville (77122)
Paris 13e (75113)	Colombes (92025)	Clichy-sous-Bois (93014)	Compans (77123)
Paris 14e (75114)	Courbevoie (92026)	Coubon (93015)	Conches-sur-Gondoire (77124)
Paris 15e (75115)	Fontenay-aux-Roses (92032)	La Courneuve (93027)	Courtry (77139)
Paris 16e (75116)	Garches (92033)	Drancy (93029)	Croissy-Beaubourg (77146)
Paris 17e (75117)	La Garenne-Colombes (92035)	Dugny (93030)	Emerainville (77169)
Paris 18e (75118)	Gennevilliers (92036)	Épinay-sur-Seine (93031)	Évry-Grévy-sur-Yerre (77175)
Paris 19e (75119)	Issy-les-Moulineaux (92040)	Gagny (93032)	Férolles-Atilly (77180)
Paris 20e (75120)	Levallois-Perret (92044)	Goumray-sur-Marne (93033)	Ferrières-en-Brie (77181)
	Malakoff (92046)	L'Île-Saint-Denis (93039)	Gouvernes (77209)
	Marnes-la-Coquette (92047)	Livry-Gargan (93046)	Gressy (77214)
	Meudon (92048)	Montfermeil (93047)	Grisy-Suisnes (77217)
	Montrouge (92049)	Neuilly-Plaisance (93049)	Guermantes (77221)
	Nanterre (92050)	Neuilly-sur-Marne (93050)	Lagny-sur-Marne (77243)
	Neuilly-sur-Seine (92051)	Noisy-le-Grand (93051)	Lésigny (77249)
	Le Plessis-Robinson (92060)	Les Pavillons-sous-Bois (93057)	Lieusaint (77251)
	Puteaux (92062)	Pierrefitte-sur-Seine (93059)	Lognes (77258)
	Rueil-Malmaison (92063)	Le Raincy (93062)	Mauregard (77282)
	Saint-Cloud (92064)	Rosny-sous-Bois (93064)	Le Mesnil-Amelot (77291)
	Sceaux (92071)	Saint-Denis (93066)	Mitry-Mory (77294)
	Sèvres (92072)	Sevran (93071)	Moissy-Cramayel (77296)
	Suresnes (92073)	Stains (93072)	Noisiel (77337)
	Vanves (92075)	Tremblay-en-France (93073)	Ozoir-la-Ferrière (77350)
	Vaucluse (92076)	Vaujours (93074)	Le Pin (77363)
	Ville-d'Avray (92077)	Villemomble (93077)	Pomponne (77372)
	Aubervilliers (93001)	Villepinte (93078)	Pontault-Combault (77373)
	Bagnoleux (93006)	Villetaneuse (93079)	Pontcarré (77374)
	Bobigny (93008)	Ablon-sur-Seine (94001)	Roissy-en-Brie (77390)
	Les Lilas (93045)	Boissy-Saint-Léger (94004)	Saint-Thibault-des-Vignes (77438)
	Montreuil (93048)	Bonneuil-sur-Marne (94011)	Senon (77450)
	Noisy-le-Sec (93053)	Bry-sur-Marne (94015)	Thorigny-sur-Marne (77464)
	Pantin (93055)	Champigny-sur-Marne (94017)	Torcy (77468)
	Le Pré-Saint-Gervais (93061)	Chennevières-sur-Marne (94019)	Vaires-sur-Marne (77479)
	Romainville (93063)	Choisy-le-Roi (94022)	Villeparisis (77514)
	Saint-Ouen (93070)	Créteil (94028)	Villevaudé (77517)
	Alfortville (94002)	Fresnes (94034)	Achères (78005)
	Arceuil (94003)	Joinville-le-Pont (94042)	Bailly (78043)
	Cachan (94016)	Limeil-Brevannes (94044)	Bouglival (78092)
	Charenton-le-Pont (94018)	Mandres-les-Roses (94047)	Buc (78117)
	Chevaly-Larue (94021)	Marolles-en-Brie (94048)	Carrières-sur-Seine (78124)
	Fontenay-sous-Bois (94033)	Noisieu (94053)	La Celle-Saint-Cloud (78126)
	Gentilly (94037)	Orly (94054)	Châteaufort (78143)
	L'Hay-les-Roses (94038)	Ormesson-sur-Marne (94055)	Chatou (78146)
	Ivry-sur-Seine (94041)	Périgny (94056)	Le Chesnay (78158)
	Le Kremlin-Bicêtre (94043)	Le Perreux-sur-Marne (94058)	Confians-Sainte-Honorine (78172)
	Maisons-Alfort (94046)	Le Plessis-Trévise (94059)	Croissy-sur-Seine (78190)
	Nogent-sur-Marne (94052)	La Queue-en-Brie (94060)	Guyancourt (78297)
	Saint-Mandé (94067)	Rungis (94065)	Houilles (78311)
	Saint-Maurice (94069)	Saint-Maur-des-Fossés (94068)	Jouy-en-Josas (78322)
	Villejuif (94076)	Santeny (94070)	Les Loges-en-Josas (78343)
	Vincennes (94080)	Sucy-en-Brie (94071)	Louvenceaux (78350)
	Vitry-sur-Seine (94081)	Thiais (94073)	Maisons-Laffitte (78358)
		Valenton (94074)	Marreil-Marly (78367)
		Villacroches (94075)	Marly-le-Roi (78372)
		Villeneuve-le-Roi (94077)	Le Mesnil-le-Roi (78396)
		Villeneuve-Saint-Georges (94078)	Montesson (78418)
		Villiers-sur-Marne (94079)	Le Pecq (78481)
		Argenteuil (95018)	Le Port-Marly (78502)
			Rocquencourt (78524)
			Saint-Cyr-l'École (78545)
			Saint-Germain-en-Laye (78551)
			Sartroville (78586)
			Toussus-le-Noble (78620)
			Versailles (78646)
			Le Vésinet (78650)
			Ballainvilliers (91044)
			Bièvres (91064)
			Bondoufle (91086)
			Boussy-Saint-Antoine (91097)
			Brétigny-sur-Orge (91103)
			Brunoy (91114)
			Bures-sur-Yvette (91122)
			Champlan (91136)
			Chilly-Mazarin (91161)
			Corbeil-Essonnes (91174)
			Courcouronnes (91182)
			Crosne (91191)
			Draveil (91201)
			Épinay-sous-Sénart (91215)
			Épinay-sur-Orge (91216)
			Étiolles (91225)
			Évry (91228)
			Fleury-Mérogis (91235)
			Gif-sur-Yvette (91272)
			Gometz-le-Châtel (91275)
			Grigny (91286)
			Ignny (91312)
			Leuville-sur-Orge (91333)
			Linaz (91339)
			Lisses (91340)
			Longjumeau (91345)
			Morsang-sur-Orge (91434)
			Longpont-sur-Orge (91347)
			Marcoussis (91363)
			Massy (91377)
			Montgeron (91421)
			Monthéry (91425)
			Nozay (91458)
			Orsay (91471)
			Palaiseau (91477)
			Le Plessis-Pâté (91494)
			Quincy-sous-Sénart (91514)
			Ris-Orangis (91521)
			Saclay (91534)
			Saint-Aubin (91538)
			Sainte-Geneviève-des-Bois (91549)
			Saint-Germain-lès-Corbeil (91553)
			Saint-Jean-de-Beauregard (91560)
			Saint-Michel-sur-Orge (91570)
			Saint-Pierre-du-Perray (91573)
			Saintry-sur-Seine (91577)
			Sault-les-Chartreux (91587)
			Soisy-sur-Seine (91600)
			Tigery (91617)
			Varenes-Jarcy (91631)
			Vauhallan (91635)
			Verrières-le-Buisson (91645)
			Vigneux-sur-Seine (91657)
			Villebon-sur-Yvette (91661)
			La Ville-du-Bois (91665)
			Villejust (91666)
			Villemaison-sur-Orge (91667)
			Villiers-le-Bâcle (91679)
			Villiers-sur-Orge (91685)
			Wissous (91689)
			Yerres (91691)
			Les Ulis (91692)
			Andilly (95014)
			Arnouville (95019)
			Attainville (95028)
			Baillet-en-France (95042)
			Beauchamp (95051)
			Bessancourt (95060)
			Béthemont-la-Forêt (95061)
			Bezons (95063)
			Bonneuil-en-France (95088)
			Bouffémont (95091)
			Bouqueval (95094)
			Chauvry (95151)
			Chennevières-lès-Louvres (95154)
			Cormeilles-en-Parisis (95176)
			Deuil-la-Barre (95197)
			Domont (95199)
			Eaubonne (95203)
			Écouen (95205)
			Enghien-les-Bains (95210)
			Épiais-lès-Louvres (95212)
			Éragry (95218)
			Ermont (95219)
			Ézanville (95229)
			Fontenay-en-Parisis (95241)
			Francerville (95252)
			Frépillon (95256)
			La Frette-sur-Seine (95257)
			Garges-lès-Gonesse (95268)
			Gonesse (95277)
			Goussainville (95280)
			Groslay (95288)
			Herblay (95306)
			Louvres (95351)
			Mareil-en-France (95365)
			Margency (95369)
			Méry-sur-Oise (95394)
			Le Mesnil-Aubry (95395)
			Moisselles (95409)
			Montigny-lès-Cormeilles (95424)
			Montignonn (95426)
			Montmagny (95427)
			Montmorency (95428)
			Montsoult (95430)
			Pierrelaye (95488)
			Piscop (95489)
			Le Plessis-Bouchard (95491)
			Le Plessis-Gassot (95492)
			Roissy-en-France (95527)
			Saint-Bric-sous-Forêt (95539)
			Saint-Gratien (95555)
			Saint-Leu-la-Forêt (95563)
			Saint-Ouen-l'Aumône (95572)
			Saint-Prix (95574)
			Sannois (95582)
			Sarcelles (95585)
			Soisy-sous-Montmorency (95598)
			Taverny (95607)
			Le Thillay (95612)
			Vaudherland (95633)
			Villaines-sous-Bois (95660)
			Villiers-Adam (95678)
			Villiers-le-Bel (95680)
			Villiers-le-Sec (95682)

Annexe 2 : Caractéristiques des études utilisées dans les méta-analyses pour l'estimation des risques sanitaires

Tableau 37. Caractéristiques des études incluses dans la méta-analyse pour l'estimation du risque de survenue de nouveaux cas d'asthme chez l'enfant suite à une exposition chronique

Nom de la cohorte	Localisation	Age exposition (années)	Effectif à l'inclusion	Période d'inclusion	Indicateur d'exposition		Niveau moyen (min-max) µg/m ³	Indicateur sanitaire	Age pathologie (années)	Nombre de cas (%)	Référence
					Polluant	Méthode					
PARIS	France Paris	1	2015	2003-2006	NOx	Dispersion ^a	75 ^b (66-89) ^c	D et S12	4	119 (6,9 %)	(Ranciere et al., 2016)
BAMSE	Suède	0	4010	1994	NO ₂	LUR	14 (6-33)	D ou S12	16	242 (10 %)	(Gehring et al., 2015)
PIAMA	Pays-Bas	0	3967	1996-1997	NO ₂	LUR	23 (9-60)	D ou S12	12	95 (7 %)	(Gehring et al., 2015)
GINI et LISA nord	Allemagne	0	2691	1997-1999/ 1995-1998	NO ₂	LUR	24 (20-63)	D ou S12	15	61 (6 %)	(Gehring et al., 2015)
GINI et LISA sud	Allemagne	0	3558	1997-1999/ 1995-1998	NO ₂	LUR	22 (11-61)	D ou S12	15	142 (6 %)	(Gehring et al., 2015)
MAAS	UK Manchester	1	1185	1995-1997	NO ₂	LUR ^a	23 (16-31)	D ou S12	11	194 (21 %)	(Molter et al., 2014)

a : plusieurs micro-environnements considérés

b : µg/m³ NO₂ eq.

c : P25-P75

LUR : Land Use Regression

D : asthme diagnostiqué

S12 : symptômes dans les 12 derniers mois

Tableau 38. Risque de survenue de nouveaux cas d'asthme chez l'enfant : relation C-R retenue et détail des risques utilisés pour la méta-analyse

Cohorte	Relation C-R [IC 95 %]	Incrément	Références
PARIS (France)	1,20 [1,02 ; 1,41]	26 µg/m ³ de NO ₂ équivalent	(Ranciere <i>et al.</i> , 2016)
BAMSE (Suède)	1,04 [0,94 ; 1,15]	10 µg/m ³ de NO ₂	(Gehring <i>et al.</i> , 2015)
PIAMA (Pays-Bas)	1,07 [1,02 ; 1,12]	10 µg/m ³ de NO ₂	(Gehring <i>et al.</i> , 2015)
GINI et LISA nord (Allemagne)	0,93 [0,73 ; 1,19]	10 µg/m ³ de NO ₂	(Gehring <i>et al.</i> , 2015)
GINI et LISA sud (Allemagne)	0,98 [0,87 ; 1,1]	10 µg/m ³ de NO ₂	(Gehring <i>et al.</i> , 2015)
MAAS (Royaume- Unis)	1,12 [0,97 ; 1,26]	1 µg/m ³ de NO ₂	(Molter <i>et al.</i> , 2015)
Méta-analyse	1,054 [1,013 ; 1,097]	10 µg/m³ de NO₂	

Tableau 39. Caractéristiques des études incluses dans la méta-analyse ESCAPE pour l'estimation du risque de survenue de cardiopathie ischémique suite à une exposition chronique

Nom de la cohorte	Localisation	Âge moyen inclusion (écart-type) en années	Effectif	Période(s) d'inclusion	Niveau moyen Indicateur d'exposition* (P5-P95) en µg/m ³		Indicateur sanitaire	Nombre de cas (%)
					PM _{2,5}	NO ₂		
FINRISK	Turku et Heisinki (Finlande)	48 (13)	9 995	1992, 1997, 2002, 2007	8 (6-9)	15 (9-24)		212 (2,0 %)
SNAC-K	Stockholm (Suède)	74 (11)	2 684	2001-04	8 (6-10)	17 (9-25)		200 (6,7 %)
SALT	Stockholm (Suède)	59 (11)	6 084	1988-2002	7 (5-9)	11 (7-20)		204 (3,1 %)
60 year olds	Stockholm (Suède)	60 (0)	3 686	1997-99	7 (5-9)	11 (6-20)	Hospitalisation ou décès (hors hôpital, non hospitalisé dans les 28 j précédents)	165 (4,1 %)
SDPP	Stockholm (Suède)	47 (5)	7 723	1992-98	7 (5-8)	8 (6-11)		181 (2,3 %)
DCH	Copenhague (Danemark)	57 (4)	35 693	1993-97	11 (10-13)	16 (8-30)		3 293 (8,9 %)
HNR	Ruhr Area (Allemagne)	59 (8)	4 433	2000-03	18 (17-20)	30 (14-26)		135 (3,0 %)
KORA	Augsbourg (Allemagne)	49 (14)	8 301	1994-95, 1999-2001	14 (13-15)	19 (23-39)	cardiopathie ischémique (CIM 10 : I21, I23, I20.0, I24)	282 (3,2 %)
EPIC Turin	Turin (Italie)	50 (8)	7 230	1993-98	30 (27-33)	53 (34-68)		157 (1,8 %)
SIDRIA	Turin (Italie)	44 (6)	5 137	1999	31 (29-34)	60 (26-56)		123 (2,3 %)
SIDRIA	Rome (Italie)	44 (6)	9 200	1999	19 (17-23)	39 (42-77)		205 (2,2 %)

* méthode d'estimation : LUR + campagne de mesures de 2 semaines chaque année entre 2008 et 2011

Source : Cesaroni *et al.*, 2014

Tableau 40. Caractéristiques des études incluses dans la méta-analyse pour l'estimation du risque de recours aux urgences pour asthme chez l'enfant

Localisation	Période d'étude	Indicateur d'exposition		Méthode statistique	Indicateur	Indicateur sanitaire		Référence
		Polluants	Lag (jour)			Codification	Tranche d'âge	
Paris (France), Erpurs	2007-2011	PM _{2,5} , NO ₂	0-1	ST	recours aux urgences	CIM-10 J45-J46	2-15	34 000 (Chatignoux <i>et al.</i> , 2013)
Copenhague (Danemark)	2001-2004	PM _{2,5}	5	ST	hospitalisation	CIM-10 J45-J46	5-18	3 981 (Andersen <i>et al.</i> , 2008)
Helsinki, (Finlande)	1998-2004	PM _{2,5} trafic*, NO ₂	4	ST	recours aux urgences	CIM-10 J45-J46	<15	4 807 (Halonen <i>et al.</i> , 2008)
Copenhague (Danemark)	2001-2008	PM _{2,5}	0-4	CC	hospitalisation	CIM-10 J45-J46	0-18	6 329 (Iskandar <i>et al.</i> , 2012)
Milan (Italie)	2007-2008	PM _{2,5} , NO ₂	0-2	CC	recours aux urgences	CIM-10 J45-J46	<16	1400 (Santus <i>et al.</i> , 2012)
Athènes (Grèce)	2001-2004	NO ₂	0	ST	recours aux urgences	CIM-10 J45-J46	0-14	(Samoli <i>et al.</i> , 2011)

CC : cas croisé / ST : séries temporelles

*séparation des sources

Tableau 41. Recours aux urgences pour asthme chez l'enfant et exposition aux PM_{2,5} : relation C-R retenue et détail des risques utilisés pour la méta-analyse

Localisation	Relation C-R [IC 95 %]	Incrément	Références
Paris (France), Erpurs	1,027 [1,005 ; 1,049]	12,2 µg/m ³ de PM _{2,5}	(Chatignoux <i>et al.</i> , 2013)
Copenhague (Danemark)	1,150 [1,000 ; 1,320]	5 µg/m ³ de PM _{2,5}	(Andersen <i>et al.</i> , 2008)
Helsinki, (Finlande)	1,078 [1,035 ; 1,123]	1,1 µg/m ³ de PM _{2,5} trafic	(Halonen <i>et al.</i> , 2008)
Copenhague (Danemark)	1,090 [1,040 ; 1,130]	4,8 µg/m ³ de PM _{2,5}	(Iskandar <i>et al.</i> , 2012)
Milan (Italie)	0,983 [0,948 ; 1,020]	10 µg/m ³ de PM _{2,5}	(Santus <i>et al.</i> , 2012)
Méta-analyse	1,098 [1,012 ; 1,19]	10 µg/m³ de PM_{2,5}	-

Tableau 42. Recours aux urgences pour asthme chez l'enfant et exposition aux NO₂ : relation C-R retenue et détail des risques utilisés pour la méta-analyse

Localisation	Relation C-R [IC 95 %]	Incrément	Références
Paris (Erpurs)	1,018 [0,985 ; 1,051]	19,3 µg/m ³ de NO ₂	(Chatignoux <i>et al.</i> , 2013)
Helsinki, Finland	1,036 [0,992 ; 1,082]	14,2 µg/m ³ de NO ₂	(Halonen <i>et al.</i> , 2008)
Milan, Italy	1,001 [0,975 ; 1,027]	10 µg/m ³ de NO ₂	(Santus <i>et al.</i> , 2012)
Athènes, Grèce	1,011 [0,932 ; 1,0291]	10 µg/m ³ de NO ₂	(Samoli <i>et al.</i> , 2011)
Méta-analyse	1,0101 [0,9977 ; 1,0227]	10 µg/m³ de NO₂	-

Tableau 43. Caractéristiques des études incluses dans la méta-analyse pour l'estimation du risque d'hospitalisation pour pathologie cardiaque

Localisation	Période d'étude	Exposition		Méthode	indicateur	Indicateur sanitaire		Références
		Indicateur	Lag (jour)			Codification	Tranche d'âge	
Gothenburg, Sweden	2006-2010		0-1	CC	Infarctus du myocarde (H)	CIM-10 I21	Tous âges	NC (Wichmann <i>et al.</i> , 2014)
England and Wales	2003-2009		0-4	CC	Infarctus du myocarde (R)	-	Tous âges	452 343 (Milojevic <i>et al.</i> , 2014)
Rome, Italie	2001-2005	PM _{2,5}	0	CC	Syndrome coronarien aigu (H)	-	Tous âges	7 520 (Belleudi <i>et al.</i> , 2010)
Augsburg, Allemagne	1985-2010		0	CC	Infarctus du myocarde (R)	-	Tous âges	28 215 (von Klot <i>et al.</i> , 2011)
France, 6 villes (Psas)	2000-2003		0-1	ST	Cardiopathies ischémiques (H)	CIM-10 I20-I25	Tous âges	54 604 (Host <i>et al.</i> , 2008)
Angleterre	2003-2009		0-4	CC	Cardiopathie ischémique (R)	CIM 10 I20-I25	Tous âges	887432 (Milojevic <i>et al.</i> , 2014)
France (8 villes), Psas	1998-2003		0-1	ST	Cardiopathie ischémique (H)	CIM 10 I20-I25	Tous âges	- (Larrieu <i>et al.</i> , 2007)
Strasbourg, France	2000-2007		0-1	CC	Infarctus du myocarde (R)	CIM9 410	35-74	2134 (Bard <i>et al.</i> , 2014)
Italie (Toscane)	2002-2005	NO ₂	0-2	CC	Infarctus du myocarde (H)	CIM9 410	50 % ≥75 ans	11450 (Nuvolone <i>et al.</i> , 2011)
Rome, Italie	1995-1997		0-2	CC	Infarctus du myocarde (H)	CIM9 410	>18	6531 (D'Ippoliti <i>et al.</i> , 2003)
5 UE	1987-1994		-	ST	Infarctus du myocarde (H)	CIM9 410	>35	41172 (Poloniecki <i>et al.</i> , 1997)
Londres	1987-1994		1	ST	Infarctus du myocarde (H)	CIM9 410	Tous âges	27000 (Lanki <i>et al.</i> , 2006)

CC : cas croisé / ST : séries temporelles

NC : non connu

Tableau 44. Risque d'hospitalisation pour cardiopathie ischémique chez les adultes et exposition aux NO₂ : relation C-R retenue et détail des risques utilisés pour la méta-analyse

Localisation	Relation C-R [IC 95 %]	Incrément	Références
Bordeaux	1,015 [0,963;1,069]	10 µg/m ³ de NO ₂	(Larrieu <i>et al.</i> , 2007)
Le Havre	1,003 [0,996;1,048]	10 µg/m ³ de NO ₂	
Lille	1,035 [1;1,071]	10 µg/m ³ de NO ₂	
Lyon	1,022 [1,007;1,038]	10 µg/m ³ de NO ₂	
Marseille	1,01 [0,986;1,034]	10 µg/m ³ de NO ₂	
Paris	1,016 [1,003;1,03]	10 µg/m ³ de NO ₂	
Rouen	1,012 [0,978;1,047]	10 µg/m ³ de NO ₂	
Toulouse	1,013 [0,973;1,056]	10 µg/m ³ de NO ₂	
Strasbourg	1,054 [0,999;1,112]	10 µg/m ³ de NO ₂	
Angleterre	1,008 [0,944;1,022]	45 µg/m ³ de NO ₂	(Milojevic <i>et al.</i> , 2014)
Londres	1,0274 [1,0084;1,0479]	57,3 µg/m ³ de NO ₂	(Poloniecki <i>et al.</i> , 1997)
Toscane 1	1,011 [0,992;1,03]	10 µg/m ³ de NO ₂	(Nuvolone <i>et al.</i> , 2011)
Toscane 2	1,02 [1,001;1,039]	10 µg/m ³ de NO ₂	
Toscane 3	1,022 [1,004;1,041]	10 µg/m ³ de NO ₂	
Toscane 4	1,028 [1;1,057]	10 µg/m ³ de NO ₂	
Toscane 5	1,026 [0,999;1,053]	10 µg/m ³ de NO ₂	
Toscane 6	1,009 [0,991;1,027]	10 µg/m ³ de NO ₂	
Rome	1,026 [1,002;1,052]	10 µg/m ³ de NO ₂	(D'Ippoliti <i>et al.</i> , 2003)
Méta-analyse	1,013 [1,0078;1,0183]	10 µg/m³ de NO₂	-

Tableau 45. Risque d'hospitalisation pour cardiopathie ischémique chez les adultes et exposition aux PM_{2,5} : relation C-R retenue et détail des risques utilisés pour la méta-analyse

Localisation	Relation C-R [IC 95 %]	Incrément	Référence
Gothenburg, Sweden	1,015 [0,978 ; 1,054]	4,6 µg/m ³ de PM _{2,5}	(Wichmann <i>et al.</i> , 2014)
England and Wales	0,996 [0,976 ; 1,016]	16 µg/m ³ de PM _{2,5}	(Milojevic <i>et al.</i> , 2014)
Rome, Italie	1,023 [1,005 ; 1,042]	10 µg/m ³ de PM _{2,5}	(Belleudi <i>et al.</i> , 2010)
Helsinki, Finlande	1,226 [1,039 ; 1,449]	10 µg/m ³ de PM _{2,5}	(Rosenthal <i>et al.</i> , 2013)
Augsburg, Allemagne	1,024 [0,847 ; 1,236]	10 µg/m ³ de PM _{2,5}	(von Klot <i>et al.</i> , 2011)
France, Psas (6 villes)	1,019 [0,998 ; 1,04]	10 µg/m ³ de PM _{2,5}	(Host <i>et al.</i> , 2008)
Méta-analyse	1,012 [0,998 ; 1,027]	10 µg/m³ de PM_{2,5}	

Annexe 3 : Documentation concernant les données carroyées à 200 mètres

Les données fournies ici proviennent d'une exploitation spécifique des fichiers fiscaux visant à attribuer à chaque ménage une position géographique précise (voir plus loin). Les données carroyées de population sont cohérentes avec les données diffusées par la source « revenus fiscaux localisés », mais elles ne peuvent fournir **qu'une vision partielle de la population**, rappelons que par rapport au recensement :

- les populations non référencées à la taxe d'habitation ne sont pas présentes : personnes sans domicile, collectivités ;
- les étudiants sont généralement localisés au domicile de leurs parents ;
- la notion de résidence principale peut être sensiblement différente.

Cette base comprend 18 variables sur la structure par âge des individus, les caractéristiques des ménages (locataire/propriétaire, etc.) et les revenus au 31 décembre 2010 :

- Id : Identifiant du carreau habité
- IdINSPIRE : Identifiant INSPIRE du carreau habité
- Idk : Identifiant du rectangle d'appartenance du carreau habité
- Ind_c : Nombre d'individus résidant dans le carreau
- Nbcarr : Nombre de carreaux habités du rectangle d'appartenance
- Idk : Identifiant du rectangle
- Men : Nombre de ménages résidant dans le rectangle
- Men_surf : Surface cumulée des résidences principales, en mètres carrés
- Men_occ5 : Nombre total de ménages présents depuis 5 ans ou plus dans leur logement actuel
- Men_coll : Nombre total de ménages en logement collectif
- Men_5ind : Nombre total de ménages de 5 personnes et plus
- Men_1ind : Nombre total de ménages d'une personne
- I_1ind : Indicatrice de traitement du nombre total de ménages d'une personne :
- Men_prop : Nombre total de ménages propriétaires
- I_prop : Indicatrice de traitement du nombre total de ménages propriétaires :
- Men_basr : Nombre total de ménages dont le revenu fiscal par unité de consommation est en dessous du seuil de bas revenu
- I_basr : Indicatrice de traitement du nombre total de ménages dont le revenu fiscal par unité de consommation est en dessous du seuil de bas revenu

Annexe 4 : Projection démographique pour l'Île-de-France

Les projections démographiques pour l'Île-de-France sont issues de modèles de simulation démographiques et immobiliers de l'IAU Île-de-France, sur base des données d'état-civil (données définitives jusqu'en 2014) et des recensements de l'Insee ainsi que des hypothèses de construction de logements élaborées en partenariat avec la Dria.

L'évolution des quotients de mortalité des hommes et des femmes à un âge donné est estimée selon la méthode de projection retenue par l'Insee¹.

Deux scénarios d'évolution ont été envisagés :

- l'un basé sur une hypothèse d'évolution tendancielle de construction de logements en Île-de-France ;
- l'autre sur une hypothèse d'évolution de la construction volontariste.

Les hypothèses retenues pour les deux scénarios sont détaillées dans le tableau suivant.

Tableau 46. Hypothèses retenues pour les projections démographiques de la population francilienne

	Scénario "Tendanciel"	Scénario "Volontariste"
Fécondité	Maintien des taux de fécondité par âge de la mère au niveau moyen observé au cours des 5 dernières années connues dans le département. Cette hypothèse conduit à un indice synthétique de fécondité de 2,2 enfants par femme en Essonne tout au long de la période de simulation.	
Mortalité	Evolution des quotients de mortalité par sexe et âge détaillé sur la base du scénario central de l'Insee (novembre 2016). L'espérance de vie à la naissance passe de 79,9 à 86,7 ans entre 2012-2014 et 2040 chez les hommes en Île-de-France et de 85,2 à 90,2 ans chez les femmes.	
Migrations*	Construction régionale conduisant à une hausse de 37 000 logements chaque année en Île-de-France de 2010 à 2030	Construction à l'échelle régionale, conduisant à une hausse de 53 000 logements chaque année en Île-de-France de 2010 à 2030 conformément aux orientations du SDRIF
Population francilienne (hab.) au 1/1/2030	12,815 millions	13,155 millions

*Les taux de migrations par sexe et âge détaillé de la période 2006-2013 ont été retenus puis corrigés des évolutions attendues de la construction de logements dans le département entre 2013 et 2030 (par rapport à 2006-2013)

¹ http://www.insee.fr/fr/publications-et-services/docs_doc_travail/F1606.pdf

Tableau 47. Taux d'évolution de la population entre 2012 et les deux échéances considérées par département et par catégorie d'âges selon un scénario tendanciel

Départements	Année	0-1[0-17]	30+	40-74
75	2018	-0,10%	-6,41%	0,61%	2,61%
	2019	-0,15%	-0,95%	0,92%	2,69%
77	2018	-0,69%	-2,15%	6,77%	7,90%
	2019	-1,08%	3,18%	7,81%	8,77%
78	2018	-1,80%	-4,01%	3,18%	3,98%
	2019	-2,29%	1,25%	3,69%	4,36%
91	2018	2,08%	-0,95%	5,41%	6,06%
	2019	1,99%	4,81%	6,16%	6,61%
92	2018	-1,25%	-2,59%	3,25%	6,98%
	2019	-1,44%	2,79%	3,90%	7,78%
93	2018	2,00%	5,59%	5,09%	5,98%
	2019	1,73%	7,83%	5,89%	7,15%
94	2018	1,17%	3,27%	4,72%	6,55%
	2019	1,37%	5,92%	5,40%	7,42%
95	2018	0,94%	2,87%	4,48%	5,01%
	2019	0,61%	5,38%	5,18%	5,72%

Sources : Insee, IAU IdF

Tableau 48. Taux d'évolution de la population entre 2012 et les deux échéances considérées par département et par catégorie d'âges selon un scénario volontariste

Départements	Année	0-1[0-17]	30+	40-74
75	2018	0,11%	-7,72%	0,12%	2,25%
	2019	0,00%	-1,12%	-2,61%	0,33%
77	2018	4,16%	-2,15%	6,90%	8,01%
	2019	0,00%	-0,44%	3,34%	8,05%
78	2018	1,75%	-2,25%	4,19%	4,72%
	2019	0,00%	0,47%	3,53%	4,98%
91	2018	4,27%	0,72%	6,36%	6,72%
	2019	0,00%	4,74%	7,06%	7,41%
92	2018	3,08%	-1,80%	3,88%	7,51%
	2019	0,00%	0,84%	3,89%	4,76%
93	2018	4,17%	5,30%	5,10%	5,99%
	2019	0,00%	1,88%	7,59%	5,99%
94	2018	4,12%	3,61%	5,05%	6,82%
	2019	0,00%	2,38%	6,45%	5,88%
95	2018	2,79%	3,05%	4,78%	5,29%
	2019	0,11%	-7,72%	0,12%	2,25%

Sources : Insee, IAU IdF

Annexe 5 : 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 la formule :

$${}_nM_x = \frac{{}_nD_x}{{}_nN_x}$$

où 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

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

$${}_nq_x = \frac{n \times {}_nM_x}{1 + (n - n_{ax}) \times {}_nM_x}$$

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 :

$${}_nd_x = l_x \times {}_nq_x$$

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 :

$${}_nL_x = n \times l_{x+n} + n_{ax} \times n d_x$$

Pour la dernière classe d'âge :

$${}_nL_x = \frac{l_x}{{}_nM_x}$$

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

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

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 :

$${}_nD_x^{impacté} = {}_nD_x \times e^{\ln(RR/\Delta_{RR}) \times \Delta_{exp}}$$

où Δ_{exp} est la baisse du niveau de pollution.

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 :

$$G = e_{30}^{impacté} - e_{30}$$

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

Annexe 6 : Bénéfices sanitaires potentiels estimés à partir des niveaux de PM_{2,5}

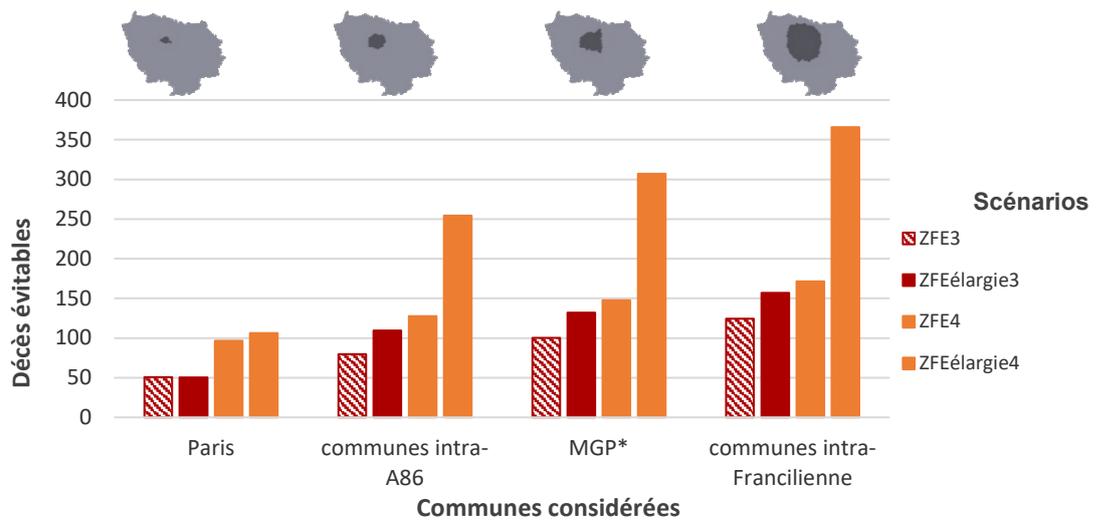
Nombre annuel de décès potentiellement évitables

Tableau 49. Nombre annuel de décès potentiellement évitables et pourcentage selon les scénarios de mise en œuvre de la ZFE étudiés

Zone d'étude et sous-zones		Scénarios			
		ZFE3	ZFE _{élargie3}	ZFE4	ZFE _{élargie4}
Communes intra-Francilienne	cas	120 [40;200]	160 [60;250]	170 [60;270]	370 [130;580]
	%	0,2 % [0;0,4]	0,3 % [0;0,4]	0,3 % [0;0,5]	0,7 % [0,1;1]
MGP*	cas	100 [40;160]	130 [50;210]	150 [50;240]	310 [110;490]
	%	0,2 % [0;0,4]	0,3 % [0,1;0,5]	0,4 % [0;0,6]	0,8 % [0,2;1,2]
Communes intra-A86	cas	80 [30;130]	110 [40;180]	130 [50;200]	250 [90;410]
	%	0,3 % [0;0,4]	0,4 % [0;0,6]	0,4 % [0;0,7]	0,9 % [0;1,4]
Paris	cas	50 [20;80]	50 [20;80]	100 [30;150]	110 [40;170]
	%	0,4 % [0,1;0,6]	0,4 % [0,1;0,6]	0,7 % [0,3;1,2]	0,8 % [0,3;1,3]

* inclut aussi les deux communes du 78 situées à l'intérieur de l'A86 (78 640 et 78 686)

Figure 30. Nombres annuels de décès potentiellement évitables chez les 30 ans et plus selon les scénarios étudiés



* inclut aussi les deux communes du 78 situées à l'intérieur de l'A86 (78 640 et 78 686)

Gains d'espérance de vie

Tableau 50. Nombres totaux d'années de vie gagnées et gains moyens d'espérance de vie (en jours) annuels selon les scénarios étudiés

Zone d'étude et sous-zones		Scénarios			
		ZFE3	ZFE ^{élargie} 3	ZFE4	ZFE ^{élargie} 4
Communes intra- Francilienne	Total (ans)	42 010 [15 267;66 485]	52 605 [18 971;83 373]	57 403 [20 659;90 992]	120 765 [42 838;191 899]
	Gain moyen (jours)	3 [1;4]	3 [1;5]	4 [1;6]	8 [3;12]
MGP*	Total (ans)	33 574 [11 728;53 563]	43 974 [15 364;70 141]	49 139 [17 181;78 344]	101 522 [35 521;161 748]
	Gain moyen (jours)	3 [1;5]	4 [1;6]	4 [2;7]	9 [3;14]
Communes intra-A86	Total (ans)	26 431 [9 233;42 166]	36 106 [12 616;57 588]	42 143 [14 737;67 181]	83 196 [29 114;132 523]
	Gain moyen (jours)	3 [1;5]	4 [2;7]	5 [2;8]	10 [4;16]
Paris	Total (ans)	16 986 [5 936;27 093]	16 893 [5 901;26 941]	32 088 [11 223;51 137]	35 405 [12 386;56 406]
	Gain moyen (jours)	5 [2;7]	5 [2;7]	9 [3;14]	9 [3;15]

* inclut aussi les deux communes du 78 situées à l'intérieur de l'A86 (78 640 et 78 686)

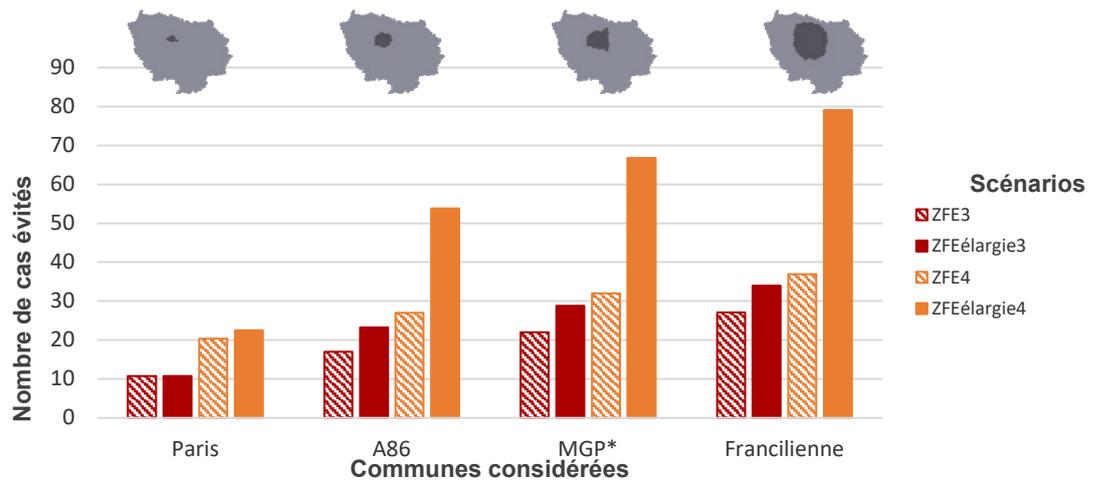
Nombres annuels de nouveaux cas de cardiopathie ischémique potentiellement évitables

Tableau 51. Nombres annuels de cas de cardiopathie ischémique potentiellement évitables chez les 40-74 ans et pourcentages selon les scénarios étudiés

Zone d'étude et sous-zones		Scénarios			
		ZFE3	ZFE ^{élargie} 3	ZFE4	ZFE ^{élargie} 4
Communes intra- Francilienne	cas	30 [0;60]	30 [0;70]	40 [0;80]	80 [0;170]
	%	0,4 % [0;0,8]	0,5 % [0;1]	0,5 % [0;1,1]	1,1 % [0;2,4]
MGP*	cas	20 [0;50]	30 [0;60]	30 [0;70]	70 [0;140]
	%	0,4 % [0;0,9]	0,6 % [0;1,2]	0,6 % [0;1,3]	1,3 % [0;2,8]
Communes intra-A86	cas	20 [0;40]	20 [0;50]	30 [0;60]	50 [0;120]
	%	0,5 % [0;1]	0,7 % [0;1,4]	0,8 % [0;1,6]	1,5 % [0;3,3]
Paris	cas	10 [0;20]	10 [0;20]	20 [0;40]	20 [0;50]
	%	0,7 % [0;1,4]	0,7 % [0;1,4]	1,3 % [0;2,7]	1,4 % [0;3]

* inclut aussi les deux communes du 78 situées à l'intérieur de l'A86 (78 640 et 78 686)

Figure 31. Nombres annuels de cas de cardiopathie ischémique potentiellement évitables chez les 40-74 ans selon les scénarios étudiés



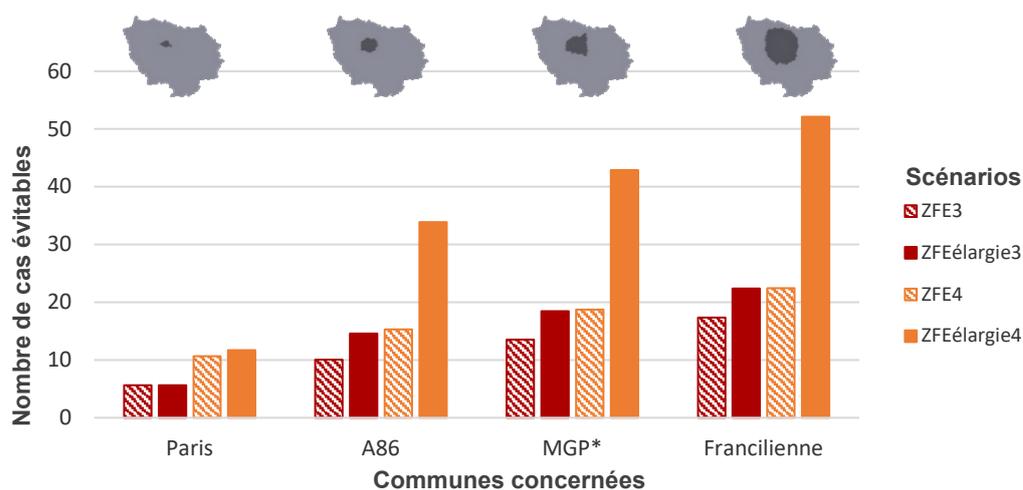
Nombres annuels de naissances (à terme) de faible poids potentiellement évitables

Tableau 52. Nombres annuels de naissances (à terme) de faible poids potentiellement évitables et pourcentages selon les scénarios étudiés

Zone d'étude et sous-zones		Scénarios			
		ZFE3	ZFE _{élargie3}	ZFE4	ZFE _{élargie4}
Communes intra-Francilienne	cas	10 [0;20]	30 [10;60]	40 [20;70]	50 [20;90]
	%	0,5 % [0,2;0,9]	0,6 % [0,2;1,1]	0,6 % [0,2;1,1]	1,5 % [0,2;2,6]
MGP*	cas	10 [0;20]	20 [10;30]	20 [10;30]	20 [10;40]
	%	0,5 % [0,2;0,9]	0,7 % [0,3;1,3]	0,8 % [0,3;1,3]	1,7 % [0,6;3]
Communes intra-A86	cas	10 [0;10]	20 [10;30]	20 [10;30]	20 [10;40]
	%	0,6 % [0,2;1,1]	0,9 % [0,3;1,5]	0,9 % [0,3;1,6]	2,1 % [0,7;3,6]
Paris	cas	10 [0;10]	10 [0;20]	10 [10;20]	20 [10;30]
	%	0,9 % [0,3;1,6]	0,9 % [0,3;1,6]	1,7 % [0,6;3]	1,9 % [0,7;3,3]

* inclut aussi les deux communes du 78 situées à l'intérieur de l'A86 (78 640 et 78 686)

Figure 32. Nombres annuels de naissances (à terme) de faible poids potentiellement évitables selon les scénarios étudiés



* inclut aussi les deux communes du 78 situées à l'intérieur de l'A86 (78 640 et 78 686)

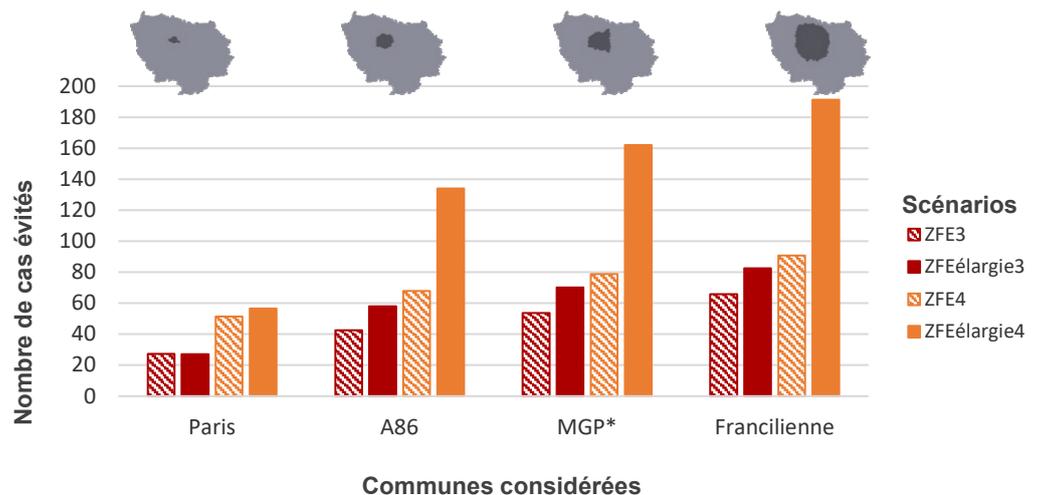
Nombres annuels d'hospitalisations pour cardiopathie ischémique potentiellement évitables chez les 40-74 ans

Tableau 53. Nombres annuels d'hospitalisations pour cardiopathie ischémique potentiellement évitables chez les 40-74 ans et pourcentages selon les scénarios étudiés

Zone d'étude et sous-zones		Scénarios			
		ZFE3	ZFE ^{élargie3}	ZFE4	ZFE ^{élargie4}
Communes intra-Francilienne	cas	70 [0;140]	80 [0;180]	90 [0;190]	190 [0;410]
	%	0,4 % [0;0,9]	0,5 % [0;1,1]	0,6 % [0;1,2]	1,2 % [0;2,5]
MGP*	cas	50 [0;120]	70 [0;150]	80 [0;170]	160 [0;350]
	%	0,5 % [0;1]	0,6 % [0;1,3]	0,7 % [0;1,4]	1,4 % [0;2,9]
Communes intra-A86	cas	40 [0;90]	60 [0;120]	70 [0;150]	130 [0;290]
	%	0,5 % [0;1,1]	0,7 % [0;1,5]	0,8 % [0;1,7]	1,6 % [0;3,4]
Paris	cas	30 [0;60]	30 [0;60]	50 [0;110]	60 [0;120]
	%	0,7 % [0;1,5]	0,7 % [0;1,5]	1,3 % [0;2,8]	1,5 % [0;3,1]

* inclut aussi les deux communes du 78 situées à l'intérieur de l'A86 (78 640 et 78 686)

Figure 33. Nombres annuels d'hospitalisations pour cardiopathie ischémique évitées potentiellement évitables chez les plus de 40-74 ans selon les scénarios de étudiés



* inclut aussi les deux communes du 78 situées à l'intérieur de l'A86 (78 640 et 78 686)

Annexe 7 : Description de la répartition de la population selon l'indice de défaveur sociale considéré

Les tableaux suivant décrivent respectivement la répartition de la population selon le niveau de défaveur sociale estimé à partir de l'EDI et de l'indice de bas revenu, au sein des trois sous-périmètres considérés : Paris, intra-A86 (hors paris) et MGP (hors intra-A86) (Tableau 54 et Tableau 55).

Tableau 54. Distribution de la population selon le niveau de l'indice de défaveur sociale (EDI) pour 3 périmètres

Indice (en quintiles)	Score*	Paris	intra-A86 (hors Paris)	MGP (hors intra-A86)
EDI 1	-9,4 – -0,5	10 %	31 %	21 %
EDI 2	-0,5 – 2,0	30 %	16 %	15 %
EDI 3	2,0 – 5,3	31 %	15 %	16 %
EDI 4	5,3 – 10,8	19 %	20 %	21 %
EDI 5	10,8 – 36,0	11 %	17 %	27 %

*plus le score est faible, plus la classe est favorisée

Sources : plateforme ERISC, Inserm 2011

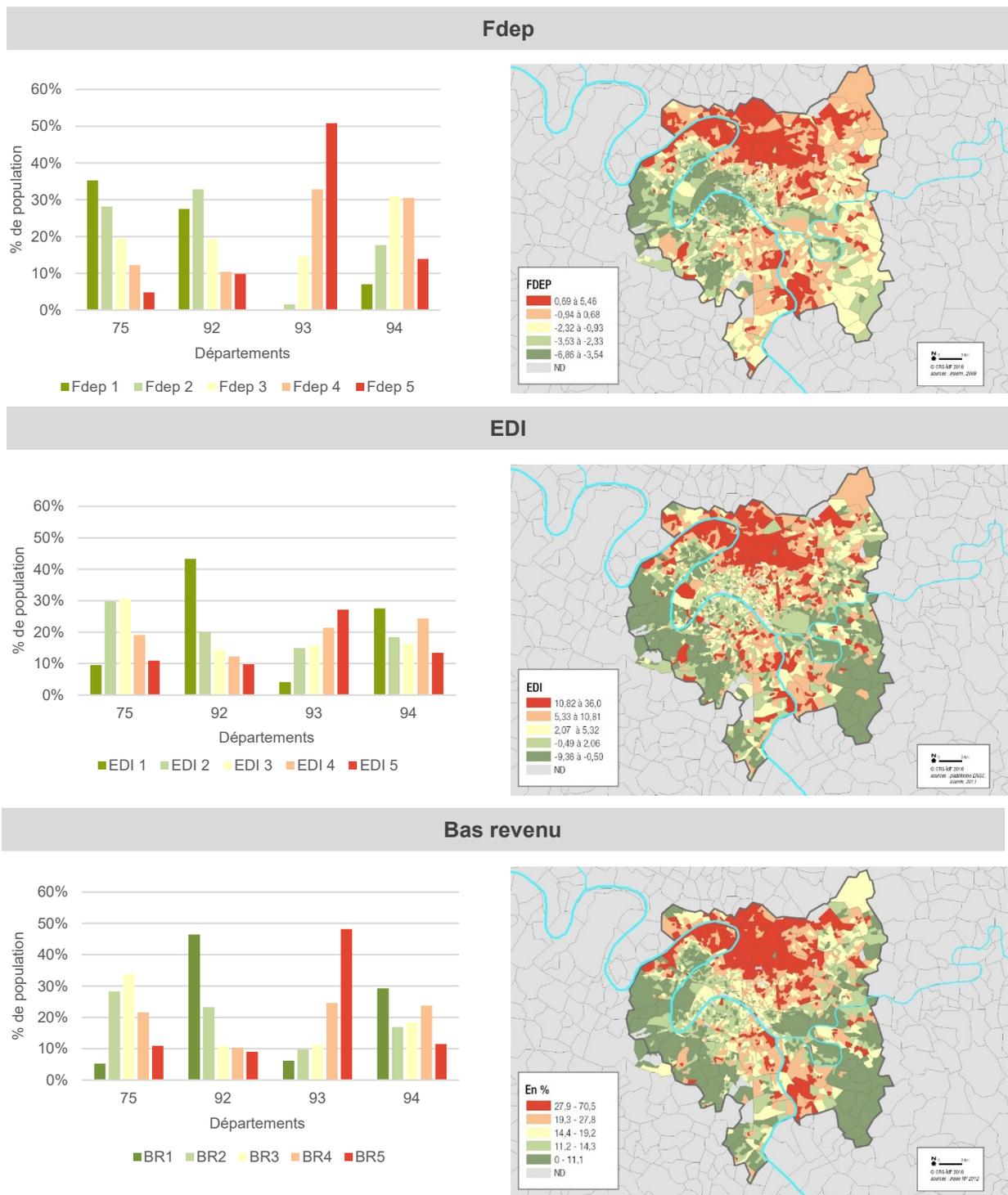
Tableau 55. Distribution de la population selon le taux de bas revenu (BR) pour 3 périmètres MGP

Quintiles	Taux de population à bas revenu	Paris	intra-A86 (hors Paris)	MGP (hors intra-A86)
BR1	0 – 11 %	5 %	33 %	23 %
BR2	11 % - 14 %	28 %	18 %	15 %
BR3	14 % - 19 %	34 %	13 %	14 %
BR4	19 % - 28 %	22 %	19 %	20 %
BR5	28 % - 70 %	11 %	18 %	28 %

Source : Insee RP 2012

La figure suivante permet de comparer la distribution de la population au sein de la MGP, selon les départements ainsi que la distribution à l'IRIS selon l'indice de défaveur sociale considéré (Figure 34).

Figure 34. Comparaison de la distribution de la population selon le niveau de l'indice de défaveur sociale considéré au sein de la MGP



Grille de lecture : les classes 1 représentent la catégorie la plus favorisée (en vert foncé) et les classes 5 la moins favorisée (en rouge)

BIBLIOGRAPHIE

Airparif. Evaluation prospective de la qualité de l'air à l'horizon 2020 en Île-de-France. Evaluation du projet de Plan de protection de l'atmosphère d'Île-de-France. Paris (France), Airparif: 140 p. 2017

Airparif. Zones à basses émissions dans l'agglomération parisienne. Etude prospective - évaluation des impacts sur les émissions du trafic routier, la qualité de l'air et l'exposition des populations. Paris (France), Airparif: 86 p. 2018

Andersen, Z. J., P. Wahlin, O. Raaschou-Nielsen, M. Ketzel, et al. "Size distribution and total number concentration of ultrafine and accumulation mode particles and hospital admissions in children and the elderly in Copenhagen, Denmark." *Occupational and Environmental Medicine* 65(7): 458-466. 2008

Atkinson, R. W., I. C. Mills, H. A. Walton and H. R. Anderson. "Fine particle components and health--a systematic review and meta-analysis of epidemiological time series studies of daily mortality and hospital admissions." *J Expo Sci Environ Epidemiol* 25(2): 208-214. 2015

Bard, D., W. Kihal, C. Schillinger, C. Fermanian, et al. "Traffic-related air pollution and the onset of myocardial infarction: disclosing benzene as a trigger? A small-area case-crossover study." *PLoS One* 9(6): e100307. 2014

Beelen, R., O. Raaschou-nielsen, M. Stafoggia, Z. J. Andersen, 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* 383: 785-795. 2014

Belleudi, V., A. Faustini, M. Stafoggia, G. Cattani, et al. "Impact of fine and ultrafine particles on emergency hospital admissions for cardiac and respiratory diseases." *Epidemiology* 21(3): 414-423. 2010

Bentayeb, M., V. Wagner, M. Stempfelet, M. Zins, et al. "Association between long-term exposure to air pollution and mortality in France: A 25-year follow-up study." *Environ Int* 85: 5-14. 2015

Cai, X., Z. Li, E. M. Scott, X. Li, et al. "Short-term effects of atmospheric particulate matter on myocardial infarction: a cumulative meta-analysis." *Environ Sci Pollut Res Int* 23(7): 6139-6148. 2016

Cesaroni, G., F. Forastiere, M. Stafoggia, Z. J. Andersen, et al. "Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events : prospective cohort study and meta-analysis in 11 European cohorts from." *BMC public health* 14: 1-16. 2014

Chanel, O., L. Perez, N. Künzli, S. Medina, et al. "The hidden economic burden of air pollution-related morbidity: evidence from the Apekom project." *Eur J Health Econ*. 2015

Chatignoux, E. and S. Host. Expositions à la pollution atmosphérique et recours aux urgences pour pathologies respiratoires chez les enfants en Île-de-France. Paris, ORS Île-de-France: 8. 2013

D'Ippoliti, D., F. Forastiere, C. Ancona, N. Agabiti, et al. "Air pollution and myocardial infarction in Rome: a case-crossover analysis." *Epidemiology* 14(5): 528-535. 2003

Deguen, S. and D. Zmirou-Navier. "Social inequalities resulting from health risks related to ambient air quality--A European review." *European journal of public health* 20: 27-35. 2010

Delmas, M. C. and C. Fuhrman. "L'asthme en France : synthèse des données épidémiologiques descriptives." *Rev Mal Respir* 27(2): 151-159. 2010

Delmas, M. C., N. Guignon, B. Leynaert, M. Moisy, et al. "[Increase in asthma prevalence among young children in France]." *Rev Mal Respir* 34(5): 525-534. 2017

- Faber, T., A. Kumar, J. P. Mackenbach, C. Millett, et al. "Effect of tobacco control policies on perinatal and child health: a systematic review and meta-analysis." *The Lancet Public Health* 2(9): e420-e437. 2017
- Gehring, U., A. H. Wijga, G. Hoek, T. Bellander, et al. "Exposure to air pollution and development of asthma and rhinoconjunctivitis throughout childhood and adolescence: a population-based birth cohort study." *Lancet Respir Med* 3(12): 933-942. 2015
- Gluckman, P. D., M. A. Hanson, C. Cooper and K. L. Thornburg. "Effect of in utero and early-life conditions on adult health and disease." *N Engl J Med* 359(1): 61-73. 2008
- Guarnieri, M. and J. R. Balmes. "Outdoor air pollution and asthma." *Lancet* 383: 1581-1592. 2014
- Halonen, J. I., T. Lanki, T. Yli-Tuomi, M. Kulmala, et al. "Urban air pollution, and asthma and COPD hospital emergency room visits." *Thorax* 63: 635-641. 2008
- Haut Conseil de la Santé Publique. "Indicateurs de suivi de l'évolution des inégalités sociales de santé dans les systèmes d'information en santé." Paris: La Documentation Française, Collection avis et rapports. 2013
- Henriksen, L., J. Simonsen, A. Haerskjold, M. Linder, et al. "Incidence rates of atopic dermatitis, asthma, and allergic rhinoconjunctivitis in Danish and Swedish children." *J Allergy Clin Immunol* 136(2): 360-366.e362. 2015
- Host, S. and N. Karusisi. *Erpurs : 20 ans de surveillance et d'évaluation des risques de la pollution urbaine sur la santé. Bilan et perspectives.* France: 82. 2014
- Host, S. and L. Duchesne. "Quantification de l'impact sanitaire des mesures de réduction de la pollution atmosphérique : apport de la littérature scientifique." *Pollution atmosphérique [En ligne]* n° 235. 2017
- Host, S., E. Chatignoux and A. Saunal. *Impacts sanitaires de la pollution atmosphérique urbaine et des expositions à proximité du trafic routier dans l'agglomération parisienne.* ORS Île-de-France. Paris: 16 p. 2012
- Host, S., S. Larrieu, L. Pascal, M. Blanchard, et al. "Short-term associations between fine and coarse particles and hospital admissions for cardiorespiratory diseases in six French cities." *Occup Environ Med* 65(8): 544-551. 2008
- Iskandar, A., Z. J. Andersen, K. Bønnelykke, T. Ellermann, et al. "Coarse and fine particles but not ultrafine particles in urban air trigger hospital admission for asthma in children." *Thorax* 67: 252-257. 2012
- Khreis, H. and M. J. Nieuwenhuijsen. "Traffic-Related Air Pollution and Childhood Asthma: Recent Advances and Remaining Gaps in the Exposure Assessment Methods." *Int J Environ Res Public Health* 14(3). 2017
- Khreis, H., C. Kelly, J. Tate, R. Parslow, et al. "Exposure to traffic-related air pollution and risk of development of childhood asthma: A systematic review and meta-analysis." *Environ Int.* 2016
- Lanki, T., J. Pekkanen, P. Aalto, R. Elosua, et al. "Associations of traffic related air pollutants with hospitalisation for first acute myocardial infarction: the HEAPSS study." *Occup Environ Med* 63(12): 844-851. 2006
- Larrieu, S., J. F. Jusot, M. Blanchard, H. Prouvost, et al. "Short term effects of air pollution on hospitalizations for cardiovascular diseases in eight French cities: the PSAS program." *Sci Total Environ* 387(1-3): 105-112. 2007
- Lim, H., H. J. Kwon, J. A. Lim, J. H. Choi, et al. "Short-term Effect of Fine Particulate Matter on Children's Hospital Admissions and Emergency Department Visits for Asthma: A Systematic Review and Meta-analysis." *J Prev Med Public Health* 49(4): 205-219. 2016
- Lipfert, F. W. "A critical review of the ESCAPE project for estimating long-term health effects of air pollution." *Environment International.* 2016

- Luo, C., X. Zhu, C. Yao, L. Hou, et al. "Short-term exposure to particulate air pollution and risk of myocardial infarction: a systematic review and meta-analysis." *Environ Sci Pollut Res Int* 22(19): 14651-14662. 2015
- Milojevic, A., P. Wilkinson, B. Armstrong, K. Bhaskaran, et al. "Short-term effects of air pollution on a range of cardiovascular events in England and Wales: case-crossover analysis of the MINAP database, hospital admissions and mortality." *Heart* 100(14): 1093-1098. 2014
- Molter, A., R. Agius, F. de Vocht, S. Lindley, et al. "Effects of long-term exposure to PM10 and NO2 on asthma and wheeze in a prospective birth cohort." *J Epidemiol Community Health* 68(1): 21-28. 2014
- Molter, A., A. Simpson, D. Berdel, B. Brunekreef, et al. "A multicentre study of air pollution exposure and childhood asthma prevalence: the ESCAPE project." *Eur Respir J* 45(3): 610-624. 2015
- Mustafic, H., P. Jabre, C. Caussin, M. H. Murad, et al. "Main air pollutants and myocardial infarction: a systematic review and meta-analysis." *Jama* 307(7): 713-721. 2012
- Nuvolone, D., D. Balzi, M. Chini, D. Scala, et al. "Short-term association between ambient air pollution and risk of hospitalization for acute myocardial infarction: results of the cardiovascular risk and air pollution in Tuscany (RISCAT) study." *Am J Epidemiol* 174(1): 63-71. 2011
- OMS. Burden of disease from environmental noise - Quantification of healthy life years lost in Europe, World Health Organization: 107 p. 2011
- OMS. Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide, World Health Organization Europe: 60 p. 2013
- OMS. WHO Expert Meeting: Methods and tools for assessing the health risks of air pollution at local, national and international level. Bonn (Allemagne), OMS: 112 p. 2014
- OMS. Health risk assessment of air pollution. General principles, OMS Europe: 30 p. 2016
- Pascal, M., P. de Crouy Chanel, V. Wagner, M. Corso, et al. "The mortality impacts of fine particles in France." *Sci Total Environ* 571: 416-425. 2016
- Pedersen, M., L. Giorgis-Allemand, C. Bernard, I. Aguilera, et al. "Ambient air pollution and low birthweight: a European cohort study (ESCAPE)." *The Lancet Respiratory Medicine* 1: 695-704. 2013
- Perez, L., C. Declercq, C. Iñiguez, I. Aguilera, et al. "Chronic burden of near-roadway traffic pollution in 10 European cities (APHEKOM network)." *Eur Respir J*. 2013
- Poloniecki, J. D., R. W. Atkinson, A. P. de Leon and H. R. Anderson. "Daily time series for cardiovascular hospital admissions and previous day's air pollution in London, UK." *Occup Environ Med* 54(8): 535-540. 1997
- Pornet, C., C. Delpierre, O. Dejardin, P. Grosclaude, et al. "Construction of an adaptable European transnational ecological deprivation index: the French version." *J Epidemiol Community Health* 66(11): 982-989. 2012
- Pouponneau, M. and F. Cape. "Les zones à faibles émissions (low emission zones) à travers l'Europe : déploiement, retours d'expérience, évaluation d'impact et efficacité du système." *Pollution atmosphérique [En ligne] n° 235*. 2017
- Public Health England. Estimation of costs to the NHS and social care due to the health impacts of air pollution, Public Health England: 57. 2018
- Rabl, A. "Analyse coûts-bénéfices des zones de circulation restreinte: méthodes et résultats." *Pollution atmosphérique [En ligne] n° 235*. 2017
- Ranciere, F., N. Bougas, M. Viola and I. Momas. "Early Exposure to Traffic-Related Air Pollution, Respiratory Symptoms at 4 Years of Age, and Potential Effect Modification by

Parental Allergy, Stressful Family Events, and Gender: A Prospective Follow-up Study of the PARIS Birth Cohort." *Environ Health Perspect*. 2016

Rey, G., S. Rican and E. Jouglu. "Mesure des inégalités de mortalité par cause de décès - Approche écologique à l'aide d'un indice de désavantage social." *Bull Epidémiol Hebd* n°8-9: pp 87-90. 2011

Rey, G., E. Jouglu, A. Fouillet and D. Hemon. "Ecological association between a deprivation index and mortality in France over the period 1997 - 2001: variations with spatial scale, degree of urbanicity, age, gender and cause of death." *BMC Public Health* 9: 33. 2009

Rojas-Rueda, D., A. de Nazelle, O. Teixido and M. J. Nieuwenhuijsen. "Replacing car trips by increasing bike and public transport in the greater Barcelona metropolitan area: a health impact assessment study." *Environ Int* 49: 100-109. 2012

Rosenthal, F. S., M. Kuisma, T. Lanki, T. Hussein, *et al.* "Association of ozone and particulate air pollution with out-of-hospital cardiac arrest in Helsinki, Finland: evidence for two different etiologies." *J Expo Sci Environ Epidemiol* 23(3): 281-288. 2013

Samoli, E., P. T. Nastos, A. G. Paliatsos, K. Katsouyanni, *et al.* "Acute effects of air pollution on pediatric asthma exacerbation: evidence of association and effect modification." *Environ Res* 111: 418-424. 2011

Santus, P., A. Russo, E. Madonini, L. Allegra, *et al.* "How air pollution influences clinical management of respiratory diseases. A case-crossover study in Milan." *Respir Res* 13: 95. 2012

Ségala, C. and L. Duchesne. "Impact sanitaire des mesures de réduction de la pollution : les réponses de l'épidémiologie." *Pollution atmosphérique [En ligne]* n° 235. 2017

Veras, M. M., N. de Oliveira Alves, L. Fajersztajn and P. Saldiva. "Before the first breath: prenatal exposures to air pollution and lung development." *Cell Tissue Res* 367(3): 445-455. 2017

von Klot, S., J. Cyrys, G. Hoek, B. Kuhnel, *et al.* "Estimated personal soot exposure is associated with acute myocardial infarction onset in a case-crossover study." *Prog Cardiovasc Dis* 53(5): 361-368. 2011

Wagner, A., J.-B. Ruidavets, P. Ducimetière and D. Arveiler. "Évolution de la maladie coronaire en France de 2000 à 2007." *Bull Epidémiol Hebd* 40-41: 415-419. 2011

Wichmann, J., K. Sjoberg, L. Tang, M. Haeger-Eugensson, *et al.* "The effect of secondary inorganic aerosols, soot and the geographical origin of air mass on acute myocardial infarction hospitalisations in Gothenburg, Sweden during 1985-2010: a case-crossover study." *Environ Health* 13: 61. 2014

Zheng, X. Y., H. Ding, L. N. Jiang, S. W. Chen, *et al.* "Association between Air Pollutants and Asthma Emergency Room Visits and Hospital Admissions in Time Series Studies: A Systematic Review and Meta-Analysis." *PLoS One* 10(9): e0138146. 2015



Observatoire régional de santé Île-de-France

15 rue Falguière - 75015 PARIS - Tél. (33) 01 77 49 78 60 - www.ors-idf.org

Directrice de la publication : Dr. Isabelle Grémy

L'ORS Île-de-France, département autonome de l'IAU Île-de-France, est un observatoire scientifique indépendant financé par l'Agence régionale de santé et le Conseil régional d'Île-de-France.

ISBN : 978-2-7371-1917-0