

Février 2022

MORTALITÉ ATTRIBUABLE À LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE EN ÎLE-DE-FRANCE

Quelle évolution depuis 10 ans et quels bénéfices d'une
amélioration de la qualité de l'air dans les territoires ?



RAPPORT & ENQUÊTE

MORTALITÉ ATTRIBUABLE À LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE EN ÎLE-DE-FRANCE

Quelle évolution depuis 10 ans et
quels bénéfices d'une
amélioration de la qualité de l'air
dans les territoires ?

Février 2022

Auteurs

Sabine HOST (ORS Île-de-France)

Thomas CARDOT (ORS Île-de-France)

Adrien SAUNAL (ORS Île-de-France)

Véronique GHERSI (Airparif)

Fabrice JOLY (Airparif)

Etude collaborative

Airparif

Remerciements

Nous remercions l'équipe d'Airparif, toujours enthousiaste à collaborer avec l'ORS et très mobilisée pour faire progresser la connaissance des impacts de la pollution de l'air sur la santé et accompagner les politiques publiques.

Nous remercions Valérie Féron, statisticienne à l'ORS, pour l'apport de son expertise en matière de données de santé et pour l'extraction des indicateurs de mortalité.

Nous remercions les membres du groupe de travail air et santé de Santé Publique France, et plus particulièrement Sylvia Medina et Mathilde Pascal pour leur disponibilité, leurs conseils avisés et le partage de leur expertise tout au long du déroulement de ce travail ainsi que pour leur relecture efficace et attentive. Cette étude bénéficie encore une fois de la fructueuse et longue collaboration entre l'ORS Île-de-France et Santé publique France dans le domaine de l'estimation des effets de la pollution de l'air sur la santé.

Nous remercions Jean-Loup Caruana de la Direction régionale et interdépartementale de l'environnement, de l'aménagement et des transports (Driat Île-de-France) pour sa relecture avisée du document.

Relecteurs

Jean-Loup CARUANA (Driat)

Sylvia MEDINA (Santé publique France)

Mathilde PASCAL (Santé publique France)

Suggestion de citation

Host Sabine, Cardot Thomas, Saunal Adrien, Gherzi Véronique, Joly Fabrice. Mortalité attribuable à la pollution atmosphérique en Île-de-France. Quelle évolution depuis 10 ans et quels bénéfices d'une amélioration de la qualité de l'air dans les territoires ? Paris : Observatoire régional de santé Île-de-France, 2022

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 pollution de l'air constitue un enjeu de santé publique particulièrement important en Île-de-France. L'ORS Île-de-France accompagne depuis plus de 30 ans les politiques d'amélioration de la qualité de l'air par la réalisation d'évaluations quantitatives d'impact sur la santé (EQIS). Cette étude, menée en partenariat avec Airparif, comporte trois grands axes : (1) Évolution de la mortalité attribuable à l'exposition à la pollution atmosphérique d'origine anthropique depuis 10 ans en Île-de-France, (2) Évaluation des bénéfices attendus si les concentrations observées en 2019 étaient ramenées au niveau des recommandations OMS, (3) Effet des mesures de restrictions mises en place en 2020. Ces EQIS se focalisent sur les impacts sur la mortalité (décès et espérance de vie) de l'exposition chronique (à long terme) à trois polluants réglementés : PM_{2,5}, NO₂ et O₃.

Méthodes

Ces évaluations s'appuient sur les guides méthodologiques produits par Santé publique France. Les données de population mobilisées pour ces évaluations sont géoréférencées au bâtiment. Le croisement de ces données avec les concentrations de polluants estimées par Airparif à une résolution fine permet d'estimer les niveaux d'exposition de la population. Ces expositions sont rapportées à un niveau de référence (absence de pollution anthropique, recommandations OMS, niveaux modélisés) afin de définir un différentiel d'exposition. La part de décès attribuables (ou évitables) à ce différentiel est ensuite estimée en mobilisant les risques relatifs recommandés. Cette part est enfin rapportée aux nombres de décès observés dans la population considérée afin d'estimer l'impact en nombre de cas attribuables (ou évitables) ainsi qu'en perte moyenne (ou gain moyen) d'espérance de vie.

Résultats

Entre 2010 le nombre annuel de décès attribuables à l'exposition prolongée au PM_{2,5} était de 10 350 et a baissé de 40 % en 2019. Tous les territoires ont bénéficié de cette amélioration. Cette tendance concerne également le NO₂, avec une diminution de 19 % du nombre de décès attribuables à son exposition. Si les niveaux de pollution actuellement observés ne dépassaient pas les valeurs annuelles recommandées par l'OMS (5 µg/m³ pour les PM_{2,5}, 10 µg/m³ pour le NO₂, et 60 µg/m³ pour l'O₃), annuellement de l'ordre de 6 220 décès pourraient être évités en lien avec les PM_{2,5}, soit 9 % des décès observés, et 2 350 décès en lien avec le NO₂, soit 3,4 % des décès observés. Cela représenterait un gain respectif moyen de 7,7 mois et 2,7 mois d'espérance de vie à 30 ans. Ces deux résultats ne peuvent pas être directement additionnés car une partie des décès liés à l'exposition aux PM_{2,5} et NO₂ se recourent. De plus, de l'ordre de 1 700 décès en lien avec l'ozone pourraient également être évités, soit 2,4 % des décès observés. Par ailleurs, en 2020, les mesures exceptionnelles de restriction ont permis d'éviter respectivement 310 décès en lien avec le NO₂ et 200 en lien avec les PM_{2,5}.

Conclusion

Évaluer l'impact sur la santé de l'exposition à la pollution de l'air permet d'objectiver l'enjeu de santé publique que représente ce facteur de risque. Ainsi ces chiffres peuvent être utilisés pour informer les parties prenantes, orienter les politiques publiques d'amélioration de la qualité de l'air et favoriser l'acceptabilité sociale des mesures. Ces évaluations permettent également d'encourager la poursuite de l'action qui a permis une amélioration continue de la qualité de l'air. Les bénéfices sanitaires conséquents que les actions d'amélioration de la qualité de l'air ont engendrés inscrivent la lutte contre la pollution de l'air comme une mesure de santé publique particulièrement pertinente et efficace et qu'il faut poursuivre.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	11
1 PRINCIPE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	13
1.1 Principe des évaluations quantitatives d'impact sur la santé de la pollution atmosphérique	13
1.2 Objectifs de cette nouvelle évaluation	16
2 MATERIELS ET METHODES	19
2.1 Scénarios et polluants étudiés, périodes et zones d'étude.....	19
2.2 Couples polluants - effets sur la santé et risques relatifs.....	22
2.3 Données mobilisées	23
2.3.1 Données démographiques.....	23
2.3.2 Données de qualité de l'air	24
2.3.3 Données de mortalité	25
2.4 Estimation de la population exposée	26
2.5 Calculs	26
2.5.1 Impact sur la mortalité	26
2.5.2 Impact sur l'espérance de vie	26
2.6 Analyse de l'impact différencié selon le niveau socio-économique	27
3 RESULTATS	29
3.1 Analyses descriptives	29
3.1.1 Données de mortalité et de population	29
3.1.2 Niveaux d'exposition à la pollution atmosphérique	30
3.1.3 Niveau de défaveur sociale	37
3.2 Résultats des EQIS.....	37
3.2.1 Evolution de la mortalité attribuable à la pollution atmosphérique entre 2010 et 2019.....	37
3.2.2 Impact sanitaire de la pollution de l'air en Île-de-France aux niveaux actuels (année de référence 2019)	40
3.2.3 Impacts des baisses des concentrations de polluants de l'air ambiant occasionnées par les restrictions d'activité en lien avec la Covid-19 en 2020 sur la mortalité	57
4 ANALYSE DES INCERTITUDES	59
4.1 Incertitudes liées à la modélisation des niveaux de pollution de l'air.....	59
4.1.1 Comparabilité des niveaux dans le cadre de l'analyse rétrospective	59
4.1.2 Incertitudes liées aux modèles	60
4.1.3 Baisses des concentrations de polluants de l'air occasionnées par les restrictions d'activité.....	62
4.2 Incertitudes liées aux indicateurs de santé et à l'estimation de la population exposée	63
4.2.1 Incertitudes liées aux indicateurs sanitaires	63
4.2.2 Estimation des expositions	63
4.3 Choix des risques relatifs et du seuil de référence	64

5 MISE EN PERSPECTIVES	67
5.1 Comparabilité avec l'étude nationale publiée en 2021 par Santé publique France [6]	67
5.2 Quelles mesures pour atteindre les recommandations de l'OMS ?	68
5.2.1 Mesures de restriction exceptionnelles : un chemin à suivre ?	68
5.2.2 Tendre vers les niveaux de PM _{2,5} et NO ₂ recommandés par l'OMS : gains d'émission nécessaires dans le domaine des transports et du bâtiment	69
5.2.3 Tendre vers les niveaux d'ozone recommandés par l'OMS : un objectif complexe	72
6 CONCLUSION	75
ANNEXES	77
Annexe 1 : Méthode de calcul de l'impact de la pollution sur l'espérance de vie à 30 ans	78
Annexe 2 : Évolution des émissions d'oxydes d'azote et particules en Île-de-France sur la dernière décennie	81
Annexe 3 : Répartition de l'impact sanitaire de la pollution de l'air aux niveaux actuels par sous-territoires	82
Annexe 4 : Estimations d'impact par intercommunalités pour les scénarios OMS et cibles intermédiaires	84
Annexe 5 : Estimations d'impact pour les scénarios OMS et cibles intermédiaires pour la Métropole du Grand Paris et communes de la ZFE-m	93
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES	95
BIBLIOGRAPHIE	97

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Infographie sur la révision des niveaux de qualité de l'air recommandés par l'OMS (source : OMS 2021)	17
Figure 2 : Zone d'étude et sous-entités	21
Figure 3 : Espérance de vie à 30 ans à l'échelle des INTERCOMMUNALITÉS d'Île-de-France	30
Figure 4 : Distribution de la population résidente exposée aux niveaux de PM _{2,5} en 2008-10 et en 2017-19	31
Figure 5 : Distribution de la population résidente exposée aux niveaux de NO ₂ en 2010 et en 2019	31
Figure 6 : Cartes des moyennes annuelles des niveaux de pollution pour les PM _{2,5} et le NO ₂	32
Figure 7 : Distribution de l'exposition aux niveaux moyens annuels de PM _{2,5} et NO ₂ (en µg/m ³) de la population au bâtiment selon le lieu de résidence sur les deux périodes étudiées	33
Figure 8 : Distribution de la population résidente exposée aux niveaux moyens ¹ d'ozone (en µg/m ³) sur la période 2017-19	34
Figure 9 : Distribution de l'exposition aux niveaux moyens ¹ d'ozone (en µg/m ³) de la population au bâtiment selon le lieu de résidence sur la période 2017-2019	34
Figure 10 : Cartes annuelles de PM _{2,5} et NO ₂ en 2020 observées "avec Covid-19" et théoriques "sans Covid-19" [16]	35
Figure 11 : Distribution de l'exposition au différentiel de NO ₂ (en µg/m ³) « avec et sans Covid-19 » de la population au bâtiment selon le lieu de résidence	36
Figure 12 : Distribution de la population résidente exposée en 2020 aux différentiels de PM _{2,5} et NO ₂ (en µg/m ³) entre niveaux observés "avec Covid-19" et théoriques "sans Covid-19"	36
Figure 13 : Carte de la défaveur sociale (Fdep)	37

Figure 14 : Comparaison de la mortalité attribuable à l'exposition prolongée aux PM _{2,5} et au NO ₂ en 2010 et en 2019	40
Figure 15 : Nombre de décès évitables chez les plus de 30 ans selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de PM _{2,5} et mise en perspective avec le poids total ..	42
Figure 16 : Nombre (et part) de décès évitables au niveau communal si les niveaux actuels de PM _{2,5} étaient ramenés à une moyenne annuelle de 5 µg/m ³ (recommandation OMS)	43
Figure 17 : Part de décès évitables dans la population des plus de 30 ans selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de PM _{2,5} pour chaque périmètre.....	44
Figure 18 : Part de décès évitables à l'intercommunalité chez les plus de 30 ans si les niveaux actuels de PM _{2,5} étaient ramenés à 5 µg/m ³ (recommandation OMS)	44
Figure 19 : Part de décès évitables à la commune chez les plus de 30 ans si les niveaux actuels de PM _{2,5} étaient ramenés à 5 µg/m ³ (recommandation OMS)	45
Figure 20 : Part de décès évitables à l'îlot de recensement (Iris) chez les plus de 30 ans si les niveaux actuels de PM _{2,5} étaient ramenés à 5 µg/m ³ (recommandation OMS)	46
Figure 21 : Gains moyens en espérance de vie (en mois) selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de PM _{2,5}	46
Figure 22 : Gains en espérance de vie à 30 ans à l'intercommunalité si les niveaux actuels de PM _{2,5} étaient ramenés à 5 µg/m ³ (recommandation OMS)	47
Figure 23 : Nombre de décès évitables selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de NO ₂ et mise en perspective avec le poids total	48
Figure 24 : Nombre (et part) de décès évitables à la commune si les niveaux actuels de NO ₂ étaient ramenés à 10 µg/m ³ (recommandation OMS).....	49
Figure 25 : Part de décès évitables chez les plus de 30 ans selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de NO ₂ pour chaque périmètre.....	50
Figure 26 : Part de décès évitables à l'intercommunalité chez les plus de 30 ans si les niveaux actuels de NO ₂ étaient ramenés à 10 µg/m ³ (recommandation OMS)	50
Figure 27 : Part de décès évitables à la commune chez les plus de 30 ans si les niveaux actuels de NO ₂ étaient ramenés à 10 µg/m ³ (recommandation OMS)	51
Figure 28 : Part de décès évitables à l'îlot de recensement (Iris) chez les 30 ans et plus si les niveaux actuels de NO ₂ étaient ramenés à 10 µg/m ³ (recommandation OMS).....	52
Figure 29 : Gains moyens en espérance de vie (en mois) selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de NO ₂	52
Figure 30 : Gains en espérance de vie à 30 ans au niveau de l'intercommunalité si les niveaux actuels de NO ₂ étaient ramenés à une moyenne annuelle de 10 µg/m ³ (recommandation OMS)	53
Figure 31 : Nombre de décès évitables selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de O ₃ pour chaque périmètre et mise en perspective avec le poids total.....	53
Figure 32 : Part de décès évitables selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de O ₃ pour chaque périmètre	54
Figure 33 : Part de décès évitables au niveau des intercommunalités si les niveaux actuels d'O ₃ étaient ramenés à 60 µg/m ³ (recommandation OMS).....	54
Figure 34 : Part de décès évitables au niveau communal si les niveaux actuels d'O ₃ étaient ramenés à 60 µg/m ³ (recommandation OMS)	55
Figure 35 : Gains moyens en espérance de vie (en mois) selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels d'O ₃	55
Figure 36 : Gains en espérance de vie à 30 ans au niveau des intercommunalités si les niveaux actuels d'O ₃ étaient ramenés à une moyenne annuelle de 60 µg/m ³ (recommandation OMS)	56
Figure 37 : Distribution de l'impact en matière de décès évitables rapportés à la population et de la part évitable au sein de trois classes de défaveur sociale si les niveaux actuels de NO ₂ et PM _{2,5} étaient ramenés aux valeurs recommandées par l'OMS	57
Figure 38 : Comparaison des deux chaînes de modélisation mobilisées pour estimer les niveaux de NO ₂	59
Figure 39 : Comparaison des deux chaînes de modélisation mobilisées pour estimer les niveaux de PM _{2,5}	60
Figure 40: Comparaisons des concentrations en NO ₂ mesurées et modélisées sur les stations de fond et stations trafic	61

Figure 41 : Comparaisons des concentrations en PM _{2,5} mesurées et modélisées sur les stations de fond et les stations trafic	61
Figure 42 : Moyenne annuelle des concentrations en NO ₂ sans la pandémie, résultats de deux simulations	62
Figure 43 : Mise en perspective de l'effet des mesures de restriction de l'année 2020 avec les bénéfices attendus de l'atteinte des objectifs OMS pour le NO ₂	69
Figure 44 : Impacts de l'exposition prolongée aux PM _{2,5} et au NO ₂ sur la mortalité annuelle, mise en perspective des différents « scénarios ».....	76

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Axes/objectifs, scénarios, polluants et périodes d'études considérés	20
Tableau 2 : Valeurs ^a et cibles intermédiaires recommandées par l'OMS et valeurs ^a de références considérées (en µg/m ³) pour l'estimation de l'impact actuel de la pollution atmosphérique (entourées en rouge) [13].....	21
Tableau 3 : Risques relatifs retenus pour l'analyse	23
Tableau 4 : Indicateurs de pollution mobilisés pour estimer les impacts aux niveaux actuels et passés.....	24
Tableau 5 : Indicateurs de pollution mobilisés pour estimer les impacts sur la mortalité des baisses des concentrations au cours de l'année 2020	25
Tableau 6. Données de population et de mortalité toutes causes des plus de 30 ans selon les périmètres d'étude pour la période 2004-2008	29
Tableau 7. Données de population et de mortalité toutes causes des plus de 30 ans selon les périmètres d'étude pour la période 2011-2015.....	30
Tableau 8 : Distribution des niveaux moyens annuels d'exposition de la population résidente aux PM _{2,5} et NO ₂ (en µg/m ³) sur les deux périodes étudiées	31
Tableau 9 : Niveau moyen d'exposition de la population dans les territoires pour les deux périodes étudiées.....	33
Tableau 10 : Distribution des niveaux moyens ¹ d'exposition de la population résidente à l'ozone (en µg/m ³) sur la période 2017-2019	34
Tableau 11 : Distribution du différentiel des niveaux d'exposition aux PM _{2,5} et NO ₂ (en µg/m ³) entre observés "avec Covid-19" et théoriques "sans Covid-19"	36
Tableau 12. Distribution de la population selon le niveau de l'indice de défaveur sociale (Fdep) pour les quatre périmètres.....	37
Tableau 13 : Comparaison de la mortalité attribuable à l'exposition à long terme aux PM _{2,5} en 2010 et en 2019 (niveaux de PM _{2,5} ramenés à 5 µg/m ³)	38
Tableau 14 : Comparaison de la mortalité attribuable à l'exposition prolongée au NO ₂ en 2010 et en 2019 (niveaux de NO ₂ ramenés à 1 µg/m ³).....	39
Tableau 15 : Nombre et part de décès évitables, et gain moyen en espérance de vie dans la population des plus de 30 ans selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de trois polluants atmosphériques	41
Tableau 16 : Nombre et part de décès évités pour les baisses de concentration en PM _{2,5} et NO ₂ pour chaque périmètre	57
Tableau 17 : Influence du risque relatif et du choix du seuil de référence « pollution anthropique minimale » sur les estimations des décès évitables.....	65
Tableau 18 : Comparaison des résultats et méthodologies respectives dans les approches nationale (extraction des résultats pour l'Île-de-France) et régionale.....	68
Tableau 19 : Nombre de décès évitables dans la population des plus de 30 ans selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de trois polluants pour chaque périmètre	82
Tableau 20 : Part de décès évitables dans la population des plus de 30 ans (en %) selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de trois polluants pour chaque périmètre	82
Tableau 21 : Gains moyens en espérance de vie (en mois) dans la population des plus de 30 ans selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de trois polluants pour chaque périmètre	83

Tableau 22 : Nombre et part de décès évitables dans la population des plus de 30 ans selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de PM _{2,5} pour chaque intercommunalité	84
Tableau 23 : Nombre et part de décès évitables dans la population des plus de 30 ans selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de NO ₂ pour chaque intercommunalité	87
Tableau 24 : Nombre et part de décès évitables dans la population des plus de 30 ans selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels d'ozone pour chaque intercommunalités	90
Tableau 25 : Liste des communes appartenant à la ZFE-m au 1 ^{er} janvier 2022	93
Tableau 26 : Nombre et part de décès évitables dans la population des plus de 30 ans selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de PM _{2,5}	94
Tableau 27 : Nombre et part de décès évitables dans la population des plus de 30 ans selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de NO ₂	94
Tableau 28 : Nombre et part de décès évitables selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels d'O ₃	94

LISTE DES ENCADRES

Encadré 1. Peut-on compter les morts de la pollution de l'air ?	11
Encadré 2. Lien causal entre exposition à la pollution de l'air et mortalité	14
Encadré 3. Quelles finalités des EQIS ?	15
Encadré 4. La notion de fraction attribuable	15
Encadré 5. Des mesures de restrictions d'activités au cours de l'année 2020	17
Encadré 6. La zone sensible pour la qualité de l'air	22
Encadré 7. Ventilation de la population des ménages sur les zones d'habitat du mode d'occupation des sols (Mos) d'Île-de-France au bâtiment	23
Encadré 8. Liens entre émissions et concentration de polluants	70
Encadré 9. Sources d'émission des composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) et évolution des contributions	73

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Méthode de calcul de l'impact de la pollution sur l'espérance de vie à 30 ans	78
Annexe 2 : Évolution des émissions d'oxydes d'azote et particules en Île-de-France sur la dernière décennie	81
Annexe 3 : Répartition de l'impact sanitaire de la pollution de l'air aux niveaux actuels par sous-territoires	82
Annexe 4 : Estimations d'impact par intercommunalités pour les scénarios OMS et cibles intermédiaires	84
Annexe 5 : Estimations d'impact pour les scénarios OMS et cibles intermédiaires pour la Métropole du Grand Paris et communes de la ZFE-m	93

INTRODUCTION

La pollution de l'air constitue un enjeu de santé publique particulièrement important en Île-de-France, avec un poids sanitaire conséquent en matière de décès, de contribution au développement de pathologies chroniques, de recours aux soins et de dégradation de la qualité de vie pour les malades et leurs proches. Le Conseil régional a sollicité l'ORS en vue de proposer une vision territorialisée de l'impact sanitaire de la pollution de l'air pour accompagner les politiques locales d'amélioration de la qualité de l'air. Cette demande constitue une opportunité pour actualiser les précédentes évaluations et intégrer les nouvelles recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), dont les valeurs guides pour la qualité de l'air ont été revues fortement à la baisse depuis septembre 2021.

Evaluer l'impact de l'exposition à la pollution de l'air en termes de nombre de décès ou nombre de malades attribuables à cette exposition permet d'objectiver l'enjeu de santé publique et de légitimer les mesures de lutte contre la pollution atmosphérique. Ainsi ces estimations peuvent être utilisées pour mobiliser les parties-prenantes, orienter les politiques publiques d'amélioration de la qualité de l'air et favoriser l'acceptabilité sociale des mesures. Cela nécessite d'expliquer la provenance de ces estimations et la manière de les interpréter (voir Encadré 1).

Encadré 1. Peut-on compter les morts de la pollution de l'air ?

Les maladies associées à une exposition à la pollution de l'air résultent d'une combinaison de plusieurs causes. La pollution atmosphérique est un facteur de risque parmi d'autres, au premier rang desquels se situent le tabac mais aussi l'alimentation, le manque d'activité physique... Ainsi, quand un médecin remplit un certificat de décès, qui mentionne obligatoirement sa cause médicale, il ne va pas inscrire « cancer du poumon dû au tabac » ou « insuffisance cardiaque due à une exposition prolongée aux particules » mais simplement « cancer du poumon » ou « insuffisance cardiaque ». Il ne peut pas le faire parce qu'il n'existe aucun moyen médical de distinguer au niveau individuel un cancer du poumon provoqué par le tabac, même chez un fumeur, d'un cancer du poumon induit par des particules (voire d'une combinaison des deux expositions). Autrement dit, la mortalité attribuable à des facteurs de risques n'est pas identifiée par un comptage direct des certificats de décès. C'est le produit d'un calcul statistique qui découle de l'observation épidémiologique des maladies dans les populations.

Cette évaluation mobilise les méthodes d'évaluation quantitative d'impact sur la santé (EQIS) de la pollution de l'air déjà utilisée pour évaluer les bénéfices attendus des zones à faibles émissions mobilité (ZFE-m) et elle suit les préconisations des guides méthodologiques produits par Santé publique France [1–3]. Ce travail a été mené en partenariat étroit avec Airparif. Ces premières évaluations se focalisent sur les impacts sur la mortalité de l'exposition prolongée à trois polluants réglementés : PM_{2,5}, NO₂ et O₃. Il est prévu, en 2022, de poursuivre cette réflexion afin de documenter les impacts sur la morbidité.

Afin d'illustrer les effets de la pollution de l'air, cette étude comporte trois axes d'étude tels que décrits ci-dessous :

1. « Evolution de la mortalité attribuable à l'exposition à la pollution atmosphérique d'origine anthropique depuis 10 ans en Île-de-France » : cet axe d'étude vise à objectiver et mettre en avant les bénéfices sanitaires observés par l'amélioration de la qualité de l'air pour certains paramètres entre 2010 et 2019. A cet effet,

l'impact de l'exposition prolongée aux PM_{2,5} et NO₂ estimé en 2010 a été comparé à l'impact estimé en 2019.

2. « Impacts de la pollution atmosphérique en Île-de-France et dans ses territoires en 2019 » : cet axe d'étude vise à préciser les enjeux actuels liés à l'exposition aux polluants atmosphériques, y compris l'ozone et appuyer la mise en œuvre des mesures de lutte contre la pollution de l'air au niveau des collectivités territoriales dans le cadre de leurs Plans climat air énergie territoriaux (PCAET). A cet effet, les niveaux actuels (l'année 2019 a été retenue à ce titre) sont comparés à une valeur de référence. Plusieurs scénarios sont proposés ici : d'une part, des valeurs de référence considérées comme sans pollution anthropique et, d'autre part, des valeurs de référence basées sur les nouvelles recommandations OMS (et cibles intermédiaires). Cette analyse fait l'objet d'une déclinaison territoriale afin de produire des indicateurs locaux directement mobilisables par les parties-prenantes et de fournir une représentation géographique fine de l'impact de la pollution de l'air sur la mortalité.
3. « Effet des mesures de restrictions mises en place en 2020 » : cet axe a pour objectif de repositionner l'effet des mesures de restriction mises en œuvre en 2020 et qui ont eu un impact sans précédent sur les concentrations de polluants, le NO₂ en particulier, par rapport aux scénarios de respect des valeurs recommandées par l'OMS. A cet effet, les niveaux de NO₂ et PM_{2,5} observés en 2020 sont comparés aux niveaux attendus « sans restriction d'activités » (modélisations rétrospectives réalisées par Airparif).

Ces évaluations répondent au principe d'une démarche transparente, impliquant de bien étayer les incertitudes et les limites liées aux données mobilisées et à l'interprétation des résultats. Ces aspects seront détaillés dans une partie de ce rapport.

Par ailleurs, Airparif a réalisé une évaluation territorialisée des pourcentages de baisse d'émissions nécessaires pour atteindre les valeurs recommandées par l'OMS et cibles intermédiaires. Plusieurs sources d'émission sont ainsi étudiées. Ce travail permet d'objectiver certains leviers d'action pour améliorer la qualité de l'air. Ainsi, ces réflexions peuvent être mises en perspective avec l'estimation des bénéfices sanitaires attendus selon les scénarios décrits ci-dessus.

1 | PRINCIPE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

LES POINTS ESSENTIELS

- > Les décès attribuables à la pollution atmosphérique ne sont pas comptés au cas par cas. L'estimation du nombre de décès dus à ces expositions résulte d'un calcul statistique qui découle de l'observation épidémiologique des maladies dans les populations ;
- > Les résultats des travaux épidémiologiques établissant un lien entre exposition à la pollution de l'air et la survenue d'effets sanitaires sont d'une grande consistance ;
- > Les résultats des EQIS de la pollution atmosphérique permettent d'accompagner les politiques publiques et de légitimer les mesures visant à réduire les niveaux de pollution.

1.1 Principe des évaluations quantitatives d'impact sur la santé de la pollution atmosphérique

Il existe deux grandes approches permettant d'étudier et de quantifier l'impact sur la santé de la pollution atmosphérique : les études épidémiologiques et les évaluations quantitatives des impacts sur la santé ou EQIS. Les études épidémiologiques permettent d'établir un lien éventuel entre une variation des niveaux de pollution atmosphérique et un effet sur la santé. Quant à elles, les EQIS de la pollution atmosphérique permettent de quantifier les impacts sur la santé d'une amélioration ou d'une dégradation de la qualité de l'air au sein d'une population. Ces dernières s'appuient sur une démarche quantitative qui suppose une relation causale (voir Encadré 2) entre l'exposition à un polluant et la survenue d'un effet sur la santé dont l'amplitude est établie par les études épidémiologiques.

Les EQIS s'appuient sur une démarche quantitative qui suppose une relation causale entre l'exposition à la pollution de l'air et la survenue d'un effet sanitaire.

Ainsi, les études épidémiologiques ont permis d'identifier deux phénomènes. D'une part, quand la pollution augmente, elles montrent que la mortalité respiratoire et cardiaque augmente parallèlement avec quelques jours de décalage. C'est l'impact à court terme. C'est ce qu'ont mis en évidence les analyses réalisées dans le cadre du programme de surveillance Erpurs (Evaluation des risques de la pollution urbaine sur la santé), piloté par l'ORS Île-de-France depuis près de 30 ans [4].

D'autre part, une exposition prolongée est associée à des risques plus élevés de certaines maladies mortelles comme les cancers respiratoires et les maladies coronariennes comme l'infarctus du myocarde. C'est l'impact à long terme. Le fardeau sanitaire de la pollution atmosphérique est donc la somme des deux phénomènes.

Ces travaux épidémiologiques reposent sur l'étude de larges cohortes, par exemple on peut citer les cohortes Escape, 360 000 Européens dont 60 000 Français, et Gazel, rassemblant 20 000 personnes employées d'EDF-GDF [5,6]. Ils consistent à recueillir un grand nombre de paramètres relatifs aux personnes constituant ces cohortes (âge, sexe, profession, lieu de résidence, exposition au tabac, modes de vie...), à suivre l'évolution de leur état de santé et à enregistrer leur éventuel décès. L'exposition aux particules fines

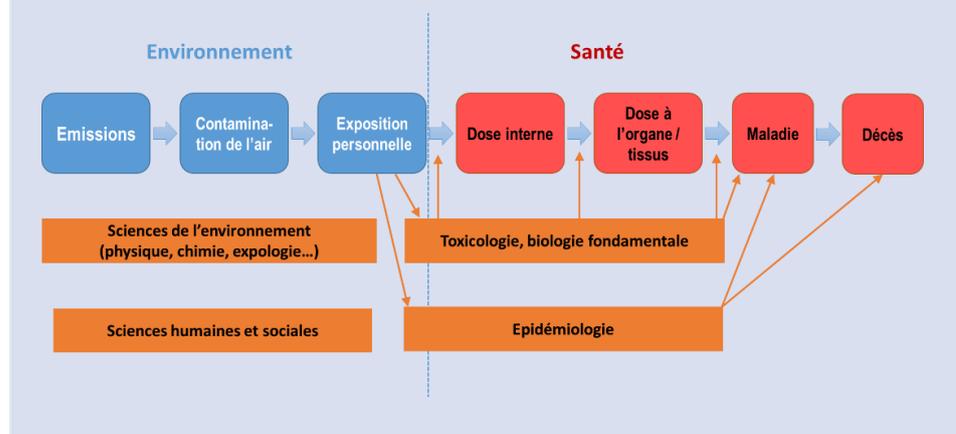
dans l'air est estimée pour chaque individu grâce à la connaissance des niveaux ambiants sur son lieu de résidence. Au moyen de modèles statistiques mettant en regard toutes ces données, une « fonction concentration-risque » (ou « risque relatif de mortalité ») est estimée, soit la probabilité additionnelle de décès du fait d'une exposition majorée aux particules fines, exprimée pour une augmentation donnée de la concentration du polluant.

Encadré 2. Lien causal entre exposition à la pollution de l'air et mortalité

La mise en évidence de la relation causale entre une exposition et un effet résulte d'un travail toxicologique et épidémiologique en général complexe car une association statistiquement significative entre une exposition et un phénomène de santé n'est pas suffisante pour établir une relation de causalité. L'analyse de la nature causale repose sur neuf arguments de preuve (Hill, 1965) : force de l'association, constance (répétabilité des observations dans différentes populations), spécificité, temporalité (l'effet précède la cause), relation dose-réponse, plausibilité biologique, cohérence, régression avec l'arrêt de l'exposition.

Dans le cas des risques liés à l'exposition à la pollution de l'air, l'ensemble de ces arguments est vérifié grâce aux approches multidisciplinaires mobilisant les sciences de l'environnement, la toxicologie et l'épidémiologie (voir figure ci-dessous), ainsi qu'aux résultats des travaux épidémiologiques menés depuis plusieurs décennies qui sont d'une grande consistance. A noter que les designs épidémiologiques et statistiques des études les plus récentes sont de plus en plus élaborés et permettent des conclusions encore plus robustes qui viennent encore renforcer l'hypothèse de causalité.

Figure : disciplines mobilisées pour étayer la relation causale entre exposition prolongée à la pollution atmosphérique et santé (d'après R. Slama)



Les études épidémiologiques confirment donc que, bien que la pollution atmosphérique ne constitue qu'un cofacteur de la mortalité prématurée, son impact est bien réel et d'importante ampleur du fait que nul ne peut se soustraire à cette exposition. Ces estimations sont par ailleurs corroborées par plusieurs études épidémiologiques qui ont montré que si on réduit les concentrations en particules, la mortalité diminue.

C'est à partir des risques relatifs établis dans ces études que sont estimés les nombres de décès attribuables à l'exposition à long terme à la pollution de l'air à l'aide des EQIS.

Pour schématiser, on tient compte de deux paramètres : le niveau moyen du polluant, avec l'excès de risque de mortalité associé, et la taille de la population exposée à la pollution de l'air. Le niveau d'exposition est estimé comparativement à un niveau de référence. Pour estimer le poids de la pollution atmosphérique d'origine anthropique, ce dernier correspond généralement au niveau le plus bas mesuré dans les milieux les plus préservés de la pollution. Il est possible de construire d'autres scénarios, de « gestion », pour l'aide à la décision, avec un niveau de référence correspondant à une valeur à

Les résultats des travaux épidémiologiques établissant un lien entre exposition à la pollution de l'air et la survenue d'effets sanitaires, menés depuis plusieurs décennies, sont d'une grande consistance.

atteindre, par exemple les valeurs recommandées par l'Organisation mondiale de la santé, pour estimer les bénéfices potentiellement attendus, soit un nombre de décès évitables. Il est possible également de construire des scénarios à partir de modélisations qui permettent d'évaluer l'impact de futures politiques de lutte contre la pollution de l'air (voir Encadré 3).

Encadré 3. Quelles finalités des EQIS ?

Les EQIS permettent également d'estimer l'impact futur d'une action de lutte contre la pollution atmosphérique. A cet effet, l'ORS Île-de-France a développé, avec Airparif et Santé publique France, une approche innovante d'évaluation prospective des bénéfices attendus de la mise en œuvre d'une zone à faibles émissions mobilité (ZFE-m) dans l'agglomération parisienne [7–10].

Ce travail, couplé à un travail de modélisation de l'impact de plusieurs scénarios de ZFE-m sur les concentrations en dioxyde d'azote (NO₂) et particules fines (PM_{2,5}) mené par Airparif, a permis de quantifier le nombre de décès potentiellement évitables par la mise en œuvre d'une telle mesure ainsi que d'autres bénéfices en termes de baisse du nombre de pathologies chroniques telles que l'asthme chez l'enfant ou les maladies cardiaques. Ce type d'analyses a pour vocation d'accompagner le dimensionnement de ces dispositifs de réduction de la pollution atmosphérique.

Les résultats de ces différents types de calculs fournissent ainsi aux décideurs une estimation robuste des impacts sur la santé de la pollution de l'air, fondée sur l'état de l'art des connaissances scientifiques actuelles. Ils permettent ainsi d'anticiper les conséquences sanitaires des décisions prises sur la pollution de l'air. Une valorisation des coûts associés est également possible. Les méthodes d'EQIS s'inscrivent dans un cadre défini par l'OMS et explicité dans différents guides élaborés par Santé publique France avec la contribution de l'ORS Île-de-France [1–3].

L'équation qui permet de faire le calcul de « risque attribuable » est couramment utilisée par les épidémiologistes depuis plus de 50 ans pour de nombreux facteurs de risque dont la pollution (voir Encadré 4). C'est ainsi que, connaissant la fraction des décès attribuable à la pollution atmosphérique, rapportée à l'ensemble des décès enregistrés nous sommes capables de produire une estimation des décès induits par la pollution de l'air. Il s'agit d'une estimation statistique, elle comporte donc une imprécision. Il faut la prendre comme un ordre de grandeur. Pour la pollution de l'air, cet ordre de grandeur a été retrouvé dans la plupart des études de ce type menées sur le plan international.

Les EQIS reposent sur des estimations statistiques et fournissent un ordre de grandeur de l'impact de la pollution de l'air sur la santé.

Encadré 4. La notion de fraction attribuable

La notion de « fraction attribuable » est apparue pour la première fois dans un article de Doll en 1951 relatif à l'investigation de l'étiologie du cancer du poumon et en particulier du rôle du tabagisme. Le concept de fraction attribuable a été précisé ensuite par ML Levin en 1953 : « La fraction attribuable est la proportion de malades que l'on espère pouvoir éviter si on supprimait le facteur de risque dans la population ». Calculer une fraction attribuable suppose une relation causale telle qu'étayée plus haut.

Les décès liés à la pollution atmosphérique, comme tout décès lié à un autre facteur de risque que l'on peut prévenir, sont considérés comme « prématurés » car l'exposition à la pollution de l'air s'est traduite par une pathologie qui a conduit au décès (qui peut être cardiovasculaire, respiratoire, neurologique, par cancers...) et a donc diminué l'espérance de vie. La question est donc aussi de savoir si les décès liés à la pollution atmosphérique

amputent significativement l'espérance de vie, autrement dit de savoir si les décès liés à la pollution font perdre quelques jours ou quelques années de vie.

Les estimations produites permettent d'accompagner les politiques publiques et de légitimer les mesures visant à réduire les niveaux de pollution.

1.2 Objectifs de cette nouvelle évaluation

Les EQIS ont un double objectif, d'une part pédagogique ; en effet, elles précisent les enjeux sanitaires liés aux expositions à la pollution de l'air. L'abaissement récent des valeurs de concentrations recommandées par l'OMS pour la protection de la santé vient encore de renforcer cet argument. D'autre part, elles ont un objectif d'aide à la décision. En effet, les estimations produites permettent aussi d'accompagner la mise en œuvre des politiques, en légitimant les mesures visant à réduire les niveaux de pollution, qui peuvent être lourdes à mettre en œuvre et parfois mal comprises par le grand public.

De plus, dans un contexte où les mesures de prévention sont encore majoritairement universelles, à savoir qu'elles ne s'appliquent pas toujours en tenant compte des caractéristiques des territoires et de leurs populations qui les composent, la réflexion engagée ici vise à proposer une territorialisation plus fine de l'impact. C'est là l'originalité de ce travail, qui permet par une méthode inédite de représentation fine de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique d'identifier plus précisément les enjeux sanitaires au sein des différents territoires.

Afin de documenter les enjeux sanitaires liés à la pollution de l'air en Île-de-France, ces estimations ont été effectuées pour différents scénarios déclinés en trois axes d'étude reflétant trois grands objectifs.

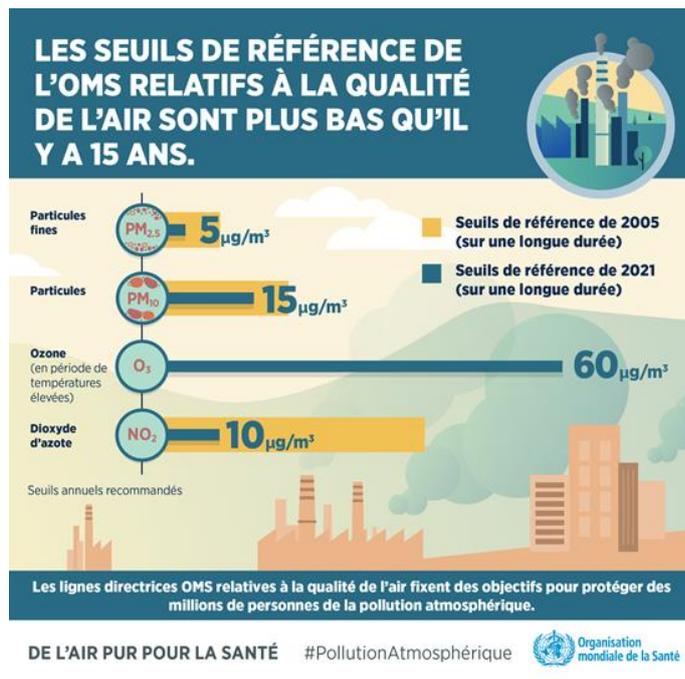
1) Une analyse rétrospective sur 10 ans afin de proposer une vision dynamique des enjeux :

La communication sur les « morts de la pollution atmosphérique » peut être vécue par le public comme anxiogène et peut conduire au fatalisme et compromettre ainsi l'adhésion de la population aux actions d'amélioration de la qualité de l'air. Cela peut aussi se traduire au niveau décisionnel par un manque d'ambition. Par ailleurs, cette communication souvent axée sur les impacts négatifs peut laisser croire à une dégradation de la situation alors que les efforts constants (même s'ils sont à renforcer) ont conduit à améliorer la qualité de l'air et donc la santé et le bien-être. Il apparaît plus positif et constructif de parler d'actions bénéfiques et d'amélioration. Ainsi, **ce premier axe d'étude** a pour but d'objectiver les bénéfices sanitaires engendrés par l'amélioration continue de la qualité de l'air sur la dernière décennie.

2) Une analyse de la situation en 2019 avec l'évaluation des bénéfices attendus si les niveaux de pollution actuels étaient ramenés à un niveau plus bas

L'OMS a récemment communiqué ses nouvelles lignes directrices mondiales sur la qualité de l'air (Figure 1). Depuis la dernière édition des lignes directrices mondiales, qui date de 2005, la quantité de données factuelles montrant que la pollution atmosphérique a une incidence sur différents aspects de la santé a sensiblement augmenté. C'est pourquoi, après un examen systématique des données accumulées, l'OMS a abaissé la quasi-totalité des valeurs de référence, en signalant que le dépassement de ces nouvelles recommandations était associé à des risques importants pour la santé, tandis que le respect de ces valeurs pourrait sauver au niveau mondial des millions de vies. Outre les valeurs recommandées, les lignes directrices mondiales de l'OMS sur la qualité de l'air établissent des cibles intermédiaires pour les concentrations dans le but de promouvoir une transition graduelle vers des concentrations plus faibles. Ainsi, **ce deuxième axe d'étude** a pour objectif de documenter les bénéfices attendus si l'on ramenait les niveaux de pollution actuellement mesurés en Île-de-France à ces valeurs recommandées et valeurs cibles intermédiaires.

Figure 1 : Infographie sur la révision des niveaux de qualité de l'air recommandés par l'OMS (source : OMS 2021)



Cette analyse fait l'objet d'une déclinaison territoriale afin de produire des indicateurs locaux, sur la base des valeurs recommandées par l'OMS pour les PM_{2,5}, NO₂ et O₃, directement mobilisables par les parties-prenantes et de fournir une représentation géographique de l'impact de la pollution de l'air sur la mortalité.

3) Une évaluation des bénéfices sanitaires attribuables à la mise en œuvre des mesures de restriction d'activités dans le cadre de la lutte contre l'épidémie de Covid-19

Enfin, l'année 2020, du fait de la pandémie de Covid-19, a constitué une année exceptionnelle à bien des points de vue et en particulier en matière de qualité de l'air. Des mesures de restriction d'ampleur inédite ont conduit notamment à une diminution des concentrations de dioxyde d'azote sans précédent dans l'histoire de la surveillance de la qualité de l'air et en particulier à proximité des axes routiers. Ainsi, ce **troisième axe d'étude** vise à mettre en perspective les bénéfices de ces baisses drastiques avec les bénéfices attendus du respect des valeurs recommandées par l'OMS. En effet, cela permettra de préciser comment se situent les mesures exceptionnelles que l'année 2020 a connu par rapport aux besoins de réduction des niveaux.

Encadré 5. Des mesures de restrictions d'activités au cours de l'année 2020

Pour limiter la transmission de la Covid-19, des mesures de restriction d'activités et de confinement ont été mises en place par le gouvernement français, comme dans de nombreux pays, au cours de l'année 2020 : fermeture des commerces non-essentiels, fermeture des écoles, recours généralisé au télétravail lorsque réalisable, forte limitation des déplacements. Les premières mesures de confinement entrées en vigueur le 17 mars 2020 ont entraîné une réduction très forte de certaines activités en Europe et dans le Monde qui s'est traduite par une baisse importante des émissions de polluants, notamment issus du trafic routier et aérien.

Dans un premier temps, ces évaluations ne porteront que sur les impacts en matière de mortalité. Or l'exposition à la pollution atmosphérique constitue un facteur de risque pour un large éventail de pathologies chroniques et à l'origine de nombreux cas. Ces travaux seront poursuivis afin de documenter l'impact de la pollution de l'air en Île-de-France sur la morbidité.

2 | MATÉRIELS ET MÉTHODES

LES POINTS ESSENTIELS

- > Cette étude comporte trois grands axes : évolution de la mortalité attribuable à l'exposition chronique aux PM_{2,5} et NO₂ entre 2010 et 2019 ; impacts actuels de la pollution atmosphérique en regard des valeurs recommandées par l'OMS et effet des mesures exceptionnelles de restrictions mises en place en 2020.
- > Pour tous les scénarios, l'impact est présenté pour l'Île-de-France et par grandes entités géographiques ;
- > La méthode suit les recommandations du guide de Santé publique France pour la réalisation des EQIS de la pollution atmosphérique ;

2.1 Scénarios et polluants étudiés, périodes et zones d'étude

Cette évaluation se décline en trois axes répondant respectivement aux trois objectifs suivants :

- 1) Une analyse rétrospective sur 10 ans afin de proposer une vision dynamique des enjeux : quel est l'impact de la pollution de l'air aujourd'hui comparé à celui estimé il y a 10 ans ?
- 2) Une analyse de la situation actuelle avec l'évaluation des bénéfices attendus si les niveaux de pollution actuels étaient ramenés à un niveau plus bas (recommandations OMS et cibles intermédiaires). Pour cette approche plusieurs sous-scénarios sont proposés.
- 3) Une évaluation de la baisse de mortalité attribuable à la mise en œuvre des mesures de lutte contre l'épidémie de Covid-19 (voir Encadré 5) pour l'année 2020 qui ont eu pour conséquence une baisse drastique de certains polluants atmosphériques et des niveaux de pollution.

Pour ces différents scénarios l'impact est estimé en regard de l'exposition à trois polluants : PM_{2,5}, NO₂ et O₃. Ces trois polluants indicateurs représentent la majeure partie des sources de pollution et reflètent des problématiques spécifiques, c'est pourquoi il est intéressant de réaliser les estimations d'impact pour ces trois polluants notamment si l'on s'intéresse à des actions sur des sources spécifiques. Toutefois, si l'on s'intéresse au poids total de la pollution atmosphérique, soit le nombre de décès imputables à la pollution d'origine anthropique, les nombres de cas quantifiés à partir de ces trois calculs ne peuvent pas être additionnés directement car il existe un risque de double compte. Par exemple, le NO₂ est considéré actuellement comme le meilleur traceur pour étudier les effets sur la santé associés au trafic. Or, les effets estimés dans les études épidémiologiques sont induits pour une part par le NO₂ et pour une autre part par les autres polluants associés à cette source d'émission (particules ultrafines, carbone suie, composés organiques volatils...). En l'état des connaissances, il reste difficile d'estimer les parts de recoupement. Ainsi, aux nombres de cas liés à l'exposition aux PM_{2,5} s'ajoute une partie des cas liés à l'exposition au NO₂. Concernant l'ozone, les études portant sur les effets à long terme de l'exposition prolongée à l'O₃ restent encore parcellaires,

toutefois, s'agissant des effets à court terme (effets aigus), les études montrent une plus grande indépendance des effets [11]. Ainsi l'impact de l'ozone peut être considéré en majeure partie comme un impact additionnel à celui des particules.

Les différents scénarios étudiés, périodes d'études et polluants considérés correspondant à ces trois objectifs sont présentés dans le tableau suivant (Tableau 1).

Tableau 1 : Axes/objectifs, scénarios, polluants et périodes d'études considérés

Axes/objectifs	Polluants considérés	Niveaux de références	Périodes d'étude
(1) Evolution de la mortalité attribuable à l'exposition chronique (effet à long terme) à la pollution de l'air entre 2010 et 2019	PM _{2,5}	Recommandations OMS	Début décennie : 2008 à 2010 Fin décennie : 2017 à 2019
	NO ₂	Pollution anthropique minimale	Début décennie : 2010 Fin décennie : 2019
(2) Impact actuel ^a de l'exposition chronique (effet à long terme) à la pollution atmosphérique	PM _{2,5}	Recommandations OMS et cibles intermédiaires	2017 à 2019
	NO ₂	Recommandations OMS et cibles intermédiaires	2019
	O ₃	Pollution anthropique minimale	2017 à 2019
(3) Impacts sur la mortalité liés à la baisse des concentrations de polluants de l'air occasionnée par les restrictions d'activité en lien avec la Covid-19 au cours de l'année 2020	PM _{2,5} et NO ₂	Niveaux attendus « sans restriction d'activités » (modélisations rétrospectives)	2020

^a hors contexte des mesures prises pour limiter la propagation de la Covid-19.

Comme expliqué précédemment (cf. § 1.1 p.13), les EQIS permettent d'estimer l'impact d'un niveau d'exposition estimé comparativement à un niveau de référence. Ainsi, selon les objectifs considérés, un ou plusieurs niveaux de référence ont été définis comme indiqué dans le tableau précédent (Tableau 1). Pour le premier objectif, il a été considéré le niveau le plus bas mesuré dans les milieux les plus préservés de la pollution, niveau appelé « pollution anthropique minimale », qui permet d'estimer le « poids total » imutable à la pollution d'origine anthropique. Afin de déterminer cette valeur, les niveaux moyens annuels mesurés sur les stations rurales nationales¹ ont été examinés. Les niveaux minimums observés de PM_{2,5} et NO₂ s'élèvent respectivement à 5 µg/m³ et 1 µg/m³. Pour les PM_{2,5}, ce niveau correspond à la valeur recommandée par l'OMS, ainsi il n'a pas été considéré de niveau de référence en deçà de cette valeur pour ce polluant.

Pour le deuxième objectif, d'autres sous-scénarios dits de « gestion », pour l'aide à la décision, avec un niveau de référence correspondant à une valeur à atteindre, ont été construits. A cet effet, les valeurs actuellement recommandées par l'Organisation mondiale de la santé ainsi que certaines cibles intermédiaires parmi celles proposées ont été retenues comme valeurs de références et sont précisées dans le tableau ci-après

¹ <https://www.geodair.fr/>

(Tableau 2). Pour l'ozone, le niveau « pollution anthropique minimale », n'a pu être déterminé à partir des stations rurales nationales car cet indicateur n'est pas calculé, il a été retenu la valeur qui avait été prise comme niveau de référence dans l'étude de Santé publique France publiée en 2016 [12].

Tableau 2 : Valeurs^a et cibles intermédiaires recommandées par l'OMS et valeurs^a de références considérées (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour l'estimation de l'impact actuel de la pollution atmosphérique (entourées en rouge) [13]

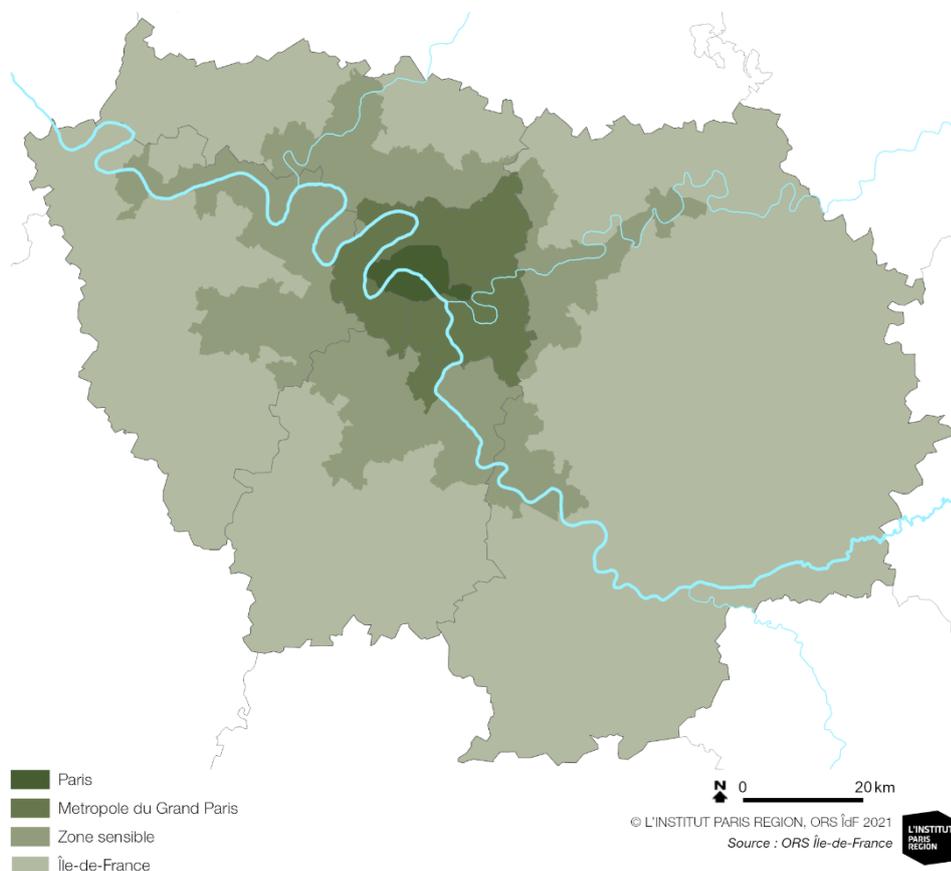
Polluants	Cibles intermédiaires				Recommandations OMS	Pollution anthropique minimale
	1	2	3	4		
PM _{2,5}	35	25	15	10	5	5
NO ₂	40	30	20	-	10	1
O ₃	100	70	-	-	60	55

^a moyennes annuelles pour le NO₂ et PM_{2,5} et moyenne annuelle des niveaux maximums journaliers de la moyenne sur 8 heures glissantes du 1er avril au 30 septembre pour l'O₃

La zone d'étude considérée correspond à l'ensemble de l'Île-de-France. Pour tous les scénarios, l'impact est présenté pour l'Île-de-France et par grandes entités géographiques (Figure 2) :

- Paris
- Métropole du Grand Paris (hors Paris)
- Zone sensible (hors Métropole du Grand Paris) (voir Encadré 6)
- Reste de l'Île-de-France

Figure 2 : Zone d'étude et sous-entités



Encadré 6. La zone sensible pour la qualité de l'air

Le code de l'environnement prévoit que les orientations des Schémas Régionaux Climat, Air, Energie destinées à réduire la pollution atmosphérique soient renforcées dans les zones dites sensibles. La définition des zones sensibles résulte d'un croisement entre les zones à densités de population élevées (ou incluant des zones naturelles protégées), et celles sujettes à des dépassements des valeurs limites concernant le NO₂ et les particules PM₁₀. La zone sensible d'Île-de-France correspond ainsi à la Zone Administrative de Surveillance déclarée à l'Union européenne et est définie par un arrêté (Arrêté du 26 décembre 2016 relatif au découpage des régions en zones administratives de surveillance de la qualité de l'air ambiant). Elle englobe la totalité des habitants potentiellement impactés par un dépassement des valeurs limites de NO₂. Elle couvre également 99,9% de la population potentiellement impactée par un risque de dépassement des valeurs limites de PM₁₀. Elle concerne ainsi plus de 10 millions d'habitants sur 23 % de la surface de l'Île-de-France.

Afin de compléter ces résultats une représentation géographique à différents échelons est proposée pour les scénarios impact actuel de l'exposition prolongée aux PM_{2,5} (référence à 5 µg/m³) et NO₂ (référence à 10 µg/m³).

2.2 Couples polluants - effets sur la santé et risques relatifs

Le choix des couples polluants – effets sur la santé et les risques relatifs (RR) associés parmi ceux disponibles dans la littérature s'est fait en s'appuyant sur les critères issus du guide EQIS-PA de Santé publique France [3] (Tableau n°2). Ces choix correspondent à des relations pour lesquelles le niveau d'incertitude sur le caractère transposable du risque est faible et pour lesquels on dispose de suffisamment de données pour permettre une quantification fiable des impacts sur la santé.

Par ailleurs, concernant la relation ozone et mortalité, en l'absence de recommandations dans le guide de 2019, il a été retenu le RR issu d'une méta-analyse récente conduite dans le cadre de la mise à jour des recommandations de l'OMS.

Dans le cadre de cette étude, les RR représentent les relations entre un indicateur d'exposition de la population à la pollution de l'air ambiant et un indicateur de santé, estimés par les études épidémiologiques. Ces RR sont nécessaires aux EQIS et sont formulés avec une valeur centrale et un intervalle de confiance à 95 % [IC95 %] qui exprime l'erreur aléatoire et la variabilité attribuée à l'hétérogénéité des RR issus des études épidémiologiques. Il s'agit d'une petite partie de l'incertitude totale dans les estimations d'impact sur la santé produites par l'EQIS. D'autres incertitudes existent, associées par exemple à la mesure et la modélisation des indicateurs d'exposition de la population à la pollution de l'air ambiant.

Ainsi, l'étude porte sur les couples PM_{2,5}, NO₂ et O₃ et mortalité toutes causes chez les 30 ans et plus conformément aux préconisations du guide EQIS-PA pour les deux premiers et en tenant compte des publications scientifiques les plus récentes pour le dernier. Les risques relatifs ainsi retenus sont présentés dans le tableau ci-après (Tableau 3).

Tableau 3 : Risques relatifs retenus pour l'analyse

Indicateur	Polluants	Classes d'âges	Risque (RR)	relatif	Références
Mortalité toutes causes Code CIM-10 : A00-Y98	PM _{2,5}	≥ 30 ans	1,15 [1,05-1,25]		Pascal <i>et al.</i> , 2016 Méta-analyse d'études européennes (22 cohortes du projet ESCAPE et une cohorte française du projet Gazel'Air) [5]
	NO ₂	≥ 30 ans	1,023 [1,037]	[1,008-	COMEAP, 2018. Méta-analyse de 11 études occidentales [14]
	O ₃	≥ 30 ans	1,01 [1,00, 1,02]		Huangfu et Atkinson 2020, méta-analyse (6 cohortes nord-américaines et la cohorte française Gazel'Air) [15]

2.3 Données mobilisées

2.3.1 Données démographiques

Les données de population mobilisées pour ces évaluations sont géoréférencées au bâtiment. Elles sont issues du recensement de la population de l'Insee et résultent du croisement et de l'analyse d'un ensemble de données tel que décrit dans l'Encadré 7. Il s'agit de la population résidente.

Encadré 7. 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 est le résultat de croisement et d'analyse effectué par l'Institut Paris Region entre le Mos 2017 qui renseigne sur la destination du bâti (habitat individuel ou collectif, activité etc...), la BD-Topo 2018 qui apportent une information précise sur la localisation du bâti et sa superficie, les Iris 2016, les fichiers fonciers 2017 qui apportent des informations sur la vacance et les logements sociaux, et enfin le répertoire d'immeubles localisés (RIL) 2018. 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 : Institut Paris Region, Insee RP 2016, IGN BD Topo 2018, fichiers fonciers 2017 et RIL 2018)

Les caractéristiques de la population par catégorie d'âges n'étant pas directement disponibles à cette échelle, une transposition des données du RP 2016 (Insee) à l'Iris a été effectuée. Les taux à l'Iris ont été affectés à chaque bâtiment localisé par son centroïde.

2.3.2 Données de qualité de l'air

Indicateurs pour estimer l'évolution de la mortalité et les impacts actuels attribuables à l'exposition à long terme à la pollution de l'air

Les données de pollution de l'air ont été modélisées par Airparif. Les concentrations pour les trois polluants considérés sont estimées à l'échelle de la région Île-de-France, à une résolution de maille de 50 mètres par 50 mètres.

Depuis 2002, Airparif produit des cartes de concentrations moyennes annuelles en dioxyde d'azote (NO₂) et en particules PM_{2,5} à différentes échelles spatiales. Les cartographies résultantes présentent les niveaux annuels de pollution rencontrés en situation de fond (loin des sources directes d'émissions) et à proximité immédiate du trafic routier. Les zones d'influence directe des axes et la décroissance des concentrations en s'éloignant de ces derniers sont également prises en compte. La méthodologie de ces cartes repose sur l'exploitation conjointe des sorties de la plateforme inter-régionale de cartographie et de prévision de la qualité de l'air ESMERALDA et des observations aux stations de mesure d'Airparif, couplées à la modélisation des émissions du trafic routier menée par le système HEAVEN.

Pour répondre au premier objectif « évolution de la mortalité attribuable à l'exposition à la pollution atmosphérique d'origine anthropique depuis 10 ans en Île-de-France », deux valeurs de l'indicateur ont été estimées pour le début et la fin de la période. Il a été considéré que la chaîne de modélisation était suffisamment constante sur cette période pour permettre une bonne comparabilité des niveaux estimés.

Pour l'ozone (mobilisé uniquement pour estimer l'impact actuel), l'indicateur correspond à la moyenne annuelle des niveaux maximums journaliers de la moyenne sur 8 heures glissantes du 1^{er} avril au 30 septembre en adéquation avec les recommandations de l'OMS. Ce paramètre n'est pas présenté dans les bilans annuels car à ce jour, il ne faisait pas partie des indicateurs suivis dans le cadre de la surveillance réglementaire (en effet, seuls les nombres annuels de dépassement de la valeur limite 120 µg/m³ sont présentés). La production de cet indicateur a été réalisée à partir de la chaîne de modélisation Esmeralda, qui modélise les concentrations en fond sur l'Île-de-France, assimilées avec les données aux stations de mesure. Elle a nécessité un travail spécifique de modélisation.

Les variations interannuelles des niveaux de PM_{2,5} et d'ozone dépendent fortement des caractéristiques météorologiques de l'année qui conditionnent la dispersion ou l'accumulation des polluants dans l'atmosphère. Ainsi, afin de lisser l'« effet météo », un indicateur moyen sur trois années a été estimé. Les niveaux moyens annuels de NO₂ sont en revanche moins sensibles à ce paramètre. De plus, il se dessine une nette tendance à la baisse de ces concentrations d'une année sur l'autre. Ainsi, cet indicateur a été estimé pour le début et la fin de la période pour une seule année. Le tableau suivant précise la constitution de ces divers indicateurs (Tableau 4).

Tableau 4 : Indicateurs de pollution mobilisés pour estimer les impacts aux niveaux actuels et passés

Polluants considérés	Indicateurs	Années considérées	
		Période 1 (début décennie)	Période 2 (niveaux actuels)
PM _{2,5}	Niveaux moyens annuels du 1 ^{er} janvier au 31 décembre	moyenne des trois années 2008, 2009, 2010	2017, 2018, 2019
NO ₂		une seule année 2010	2019
O ₃	Moyenne annuelle des niveaux maximums journaliers de la moyenne sur 8 heures glissantes du 1 ^{er} avril au 30 septembre	moyenne des trois années -	2017, 2018, 2019

Indicateurs pour estimer les impacts sur la mortalité des baisses des concentrations au cours de l'année 2020

Airparif a réalisé une estimation de l'impact sur la qualité de l'air des restrictions d'activité intervenues au cours de l'année 2020 lors des différentes phases de confinement/déconfinement instaurées dans le cadre de la lutte contre la pandémie de Covid-19. Ces estimations ont permis de différencier la part structurelle de la part conjoncturelle [16].

Il n'est pas possible de déduire directement l'impact du confinement à partir des concentrations mesurées aux stations par la seule analyse de leur évolution temporelle. En effet, ces dernières sont directement affectées par la météorologie. Ainsi, pour s'affranchir de cette difficulté, une évaluation a été réalisée au moyen d'outils de modélisation sur l'ensemble de l'Île-de-France. Elle vise à comparer la situation observée (avec confinement), par rapport à la reconstitution, à conditions météorologiques équivalentes, de ce qu'aurait été la situation sans confinement. Ainsi, un exercice théorique de modélisation a été réalisé en simulant les concentrations journalières d'une situation sans mesures de restriction dans les mêmes conditions météorologiques qu'en 2020. Ces simulations ont été comparées à la situation réelle (reflétée par les cartographies des outils de suivis opérationnels comme précédemment indiqué) permettant d'obtenir un indicateur de différence de concentration entre la situation réelle et une situation « sans Covid-19 », estimé à une maille de 50 mètres par 50 mètres (Tableau 5).

Tableau 5 : Indicateurs de pollution mobilisés pour estimer les impacts sur la mortalité des baisses des concentrations au cours de l'année 2020

Polluants considérés	Indicateur	Année considérée
PM _{2,5}	Différence de concentrations entre la situation réelle et une situation « sans Covid-19 »	2020
NO ₂		

2.3.3 Données de mortalité

Les données de mortalité totale (CIM-10 : A00-Y98) annuelle toutes causes et par âge quinquennal (données nécessaires pour les calculs d'espérance de vie) chez les 30 ans et plus à la commune ont été obtenues auprès du CépiDc pour les années les plus récentes disponibles. Pour les communes les moins peuplées, cet indicateur peut montrer de fortes fluctuations d'une année sur l'autre, ainsi l'indicateur a été moyenné sur une période de cinq ans :

- Période 1 : 2004 à 2008
- Période 2 : 2011 à 2015

Ces effectifs de décès rapportés aux effectifs communaux issus du recensement de la population pour ces mêmes années permettent d'estimer des taux de brut de mortalité mobilisable pour les calculs d'impact à une échelle inférieure à la commune. Cette « désagrégation » de l'indicateur repose sur l'hypothèse d'une distribution constante au niveau géographique du taux de mortalité ce qui est rarement le cas. Cette manipulation constitue un facteur d'incertitude supplémentaire, mais si a priori elle n'engendre pas de biais directionnel (sous-estimation ou surestimation systématique de l'impact), elle implique une interprétation prudente des résultats de calcul d'impact à fine échelle.

2.4 Estimation de la population exposée

Un niveau d'exposition aux polluants atmosphériques a été affecté à chaque bâtiment, en son centroïde, grâce à un croisement des données géoréférencées de pollution et des bâtiments : couches géographiques des bâtiments croisées avec la grille (50 x 50 m) de niveaux de concentrations en polluants. À chaque bâtiment est affecté un effectif de population par catégories d'âges, permettant d'estimer la population exposée à chaque valeur de concentration pour tous les polluants étudiés.

2.5 Calculs

2.5.1 Impact sur la mortalité

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 :

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

où FA_{Δ} est la fraction d'événements sanitaires attribuables à une modification du niveau du polluant considéré Δ_{exp}

RR_{Δ} est l'excès de risque associé au différentiel de pollution Δ_{exp} étudié, donné par le risque relatif

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

RR_{Δ} est calculé selon la formule suivante

$$RR_{\Delta} = e^{\frac{\ln RR}{\Delta_{RR}} \times \Delta_{exp}}$$

où RR est le risque relatif 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 :

$$NA = Pop_{tot} \times Taux_{décès} \times \Sigma FA_{\Delta}$$

où Pop_{tot} est la population totale et $Taux_{décès}$, le taux brut de décès dans la population ($Pop_{tot} \times Taux_{décès} = N_{décès}$, 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. Les nombres sont ensuite agrégés pour estimer l'impact au sein de chaque périmètre d'étude.

Ce calcul est effectué pour la valeur centrale du risque relatif et de la même manière en utilisant les bornes inférieures et supérieures de l'intervalle de confiance à 95 %.

2.5.2 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 classes d'âges (ici de 5 ans). Pour toute baisse de pollution de Δx , la probabilité de décès est également diminuée (RR_{Δ}).

À partir de ces probabilités par classe d'âge, il est possible de calculer l'espérance de vie moyenne à 30 ans. Cela représente le nombre moyen d'années restant à vivre au-delà de

30 ans dans les conditions de mortalité par âge de l'année dans la population considérée. 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 seraient observées aux niveaux de pollution attendus selon les différents scénarios. Le détail des équations est présenté en Annexe 1.

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 du risque relatif et de la même manière en utilisant les bornes inférieures et supérieures de l'intervalle de confiance à 95 %.

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

Cette analyse vise à comparer l'impact de l'exposition prolongée à la pollution de l'air au sein de population de différents niveaux socio-économiques. Ceci implique de caractériser le statut socio-économique de la population exposée. Le statut socio-économique est généralement approché au travers de trois domaines principaux : le niveau d'instruction, la situation professionnelle et les revenus [17]. Il existe de nombreux indices composites construits à partir de ces dimensions matérielles et sociales et agrégés à un certain niveau géographique.

Dans le cadre de cette analyse, il a été retenu l'indice de défaveur sociale, appelé FDep. Ce dernier a été développé dans le contexte français [18]. 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. 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 positive du désavantage social, les deux dernières en représentent une dimension négative. 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) [19]. 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.

3 | RESULTATS

LES POINTS ESSENTIELS

- > La baisse des niveaux moyens annuels de PM_{2,5} a permis une réduction de 40 % de la mortalité annuelle attribuable à l'exposition chronique à ce polluant et de 26 % en lien avec la baisse du NO₂ ;
- > Plus de 6 200 décès en lien avec l'exposition aux PM_{2,5} pourraient encore être évités chaque année en Île-de-France et 2 350 en lien avec l'exposition au NO₂ dont une partie se recoupe si les niveaux actuels de pollution de l'air étaient ramenés aux valeurs recommandées par l'OMS, 1 700 en lien avec l'ozone ;
- > Ces améliorations liées aux baisses des niveaux de NO₂ et des PM_{2,5} concernent tous les territoires y compris les territoires ruraux mais sont plus marquées dans la zone dense à la fois plus polluée et plus peuplée.

3.1 Analyses descriptives

3.1.1 Données de mortalité et de population

Le nombre moyen annuel de décès toutes causes de personnes de 30 ans et plus, domiciliées en Île-de-France était de 63 901 pour la période rétrospective (2004-2008). Il est, pour les données disponibles les plus récentes (soit la période 2011-2015), de 66 819. Le détail par périmètre est présenté dans les deux tableaux suivants (Tableau 6 et Tableau 7).

Tableau 6. Données de population et de mortalité toutes causes des plus de 30 ans selon les périmètres d'étude pour la période 2004-2008

Périmètres d'étude	Population	Nombre moyen annuel de décès	Taux brut (pour 100 000 hab.)	Espérance de vie à 30 ans (ans)
Paris	1 360 927	13 265	975	54,7
Métropole du Grand Paris (hors paris)	2 694 037	24 974	927	54,1
Zone sensible (hors MGP)	2 038 298	17 547	861	54,0
Reste de l'Île-de-France	787 842	8 114	1 030	52,9
ZONE D'ETUDE (TOTAL)	6 881 104	63 901	929	53,9

Source : CepiDC, Insee

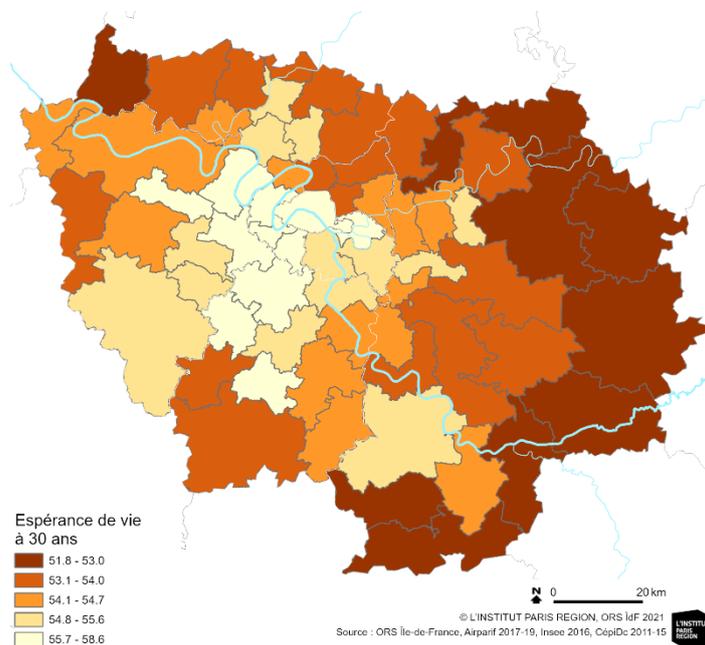
Tableau 7. Données de population et de mortalité toutes causes des plus de 30 ans selon les périmètres d'étude pour la période 2011-2015

Périmètres d'étude	Population	Nombre moyen annuel de décès	Taux brut (pour 100 000 hab.)	Espérance de vie à 30 ans (ans)
Paris	1 330 467	12 945	973	56,4
Métropole du Grand Paris (hors paris)	2 718 480	25 995	956	55,3
Zone sensible (hors MGP)	2 070 715	19 115	923	55,2
Reste de l'Île-de-France	811 740	8 763	1 080	54,1
ZONE D'ETUDE (TOTAL)	6 931 402	66 819	964	55,2

Source : CepiDC, Insee

Entre le début et la fin de la période, l'espérance de vie à 30 ans a augmenté pour tous les territoires et la population a légèrement décro à Paris et augmenté partout ailleurs, avec au total environ 50 000 habitants (> 30 ans) supplémentaires.

La carte ci-dessous illustre les contrastes territoriaux en matière d'espérance de vie à 30 ans observée sur la période récente (Figure 3).

Figure 3 : Espérance de vie à 30 ans à l'échelle des intercommunalités d'Île-de-France

3.1.2 Niveaux d'exposition à la pollution atmosphérique

Expositions aux niveaux actuels et évolutions depuis 2010

La valeur médiane de l'exposition de la population aux PM_{2,5} en moyenne annuelle est passée de 17,3 µg/m³ à 11,7 µg/m³ entre 2010 et la période actuelle (Tableau 8). Pour ce qui concerne le NO₂, la médiane est passée de 32,2 à 26,1 µg/m³ en 10 ans.

Tableau 8 : Distribution des niveaux moyens annuels d'exposition de la population résidente aux PM_{2,5} et NO₂ (en µg/m³) sur les deux périodes étudiées

Polluants	Périodes	min	p5	p25	p50	p75	p95	max	moy.
PM _{2,5}	2008-10	14,0	14,7	16,0	17,3	18,8	23,3	30,2	16,6
	2017-19	8,3	9,3	10,7	11,7	12,7	14,4	19,6	11,8
NO ₂	2010	10,3	15,4	24,7	32,2	40,3	55,6	116,3	33,5
	2019	5,1	10,0	19,1	26,1	31,1	38,2	113,1	25,3

Afin de visualiser l'évolution de l'exposition de la population, il a été estimé, pour différentes classes de niveaux de polluants, l'effectif de population résidente concerné. Les représentations graphiques ci-après (Figure 4 et Figure 5) illustrent ces baisses d'exposition, qui sont particulièrement marquées pour les PM_{2,5}.

Figure 4 : Distribution de la population résidente exposée aux niveaux de PM_{2,5} en 2008-10 et en 2017-19

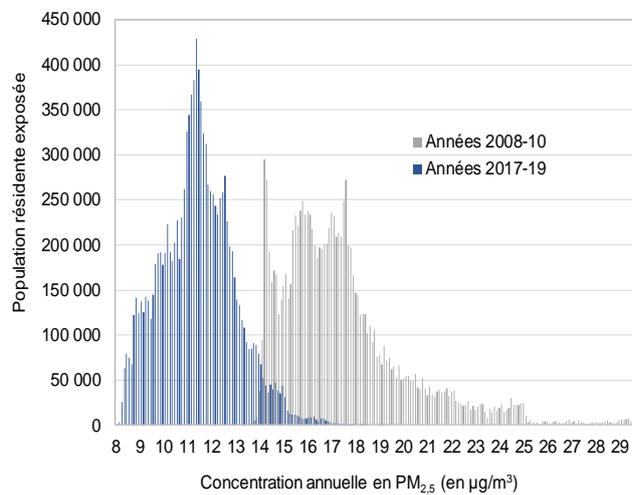
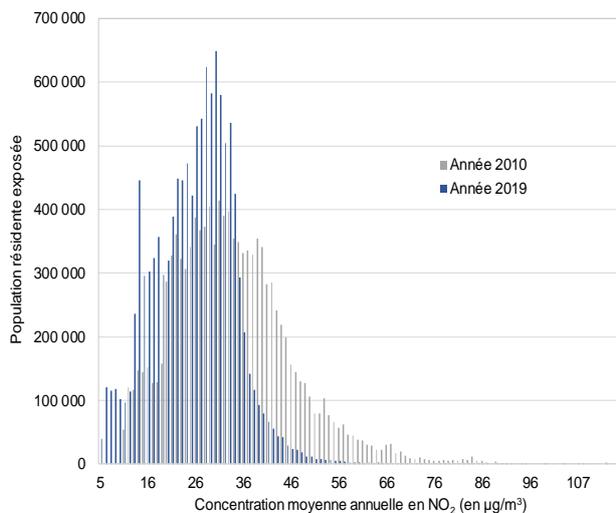


Figure 5 : Distribution de la population résidente exposée aux niveaux de NO₂ en 2010 et en 2019



Ces améliorations concernent tout le territoire tel qu'illustré par les cartes annuelles ci-après (Figure 6) et comme le montre la distribution de l'exposition sous forme de box-plot pour les quatre sous-zones d'étude (Figure 7).

Figure 6 : Cartes des moyennes annuelles des niveaux de pollution pour les PM_{2,5} et le NO₂

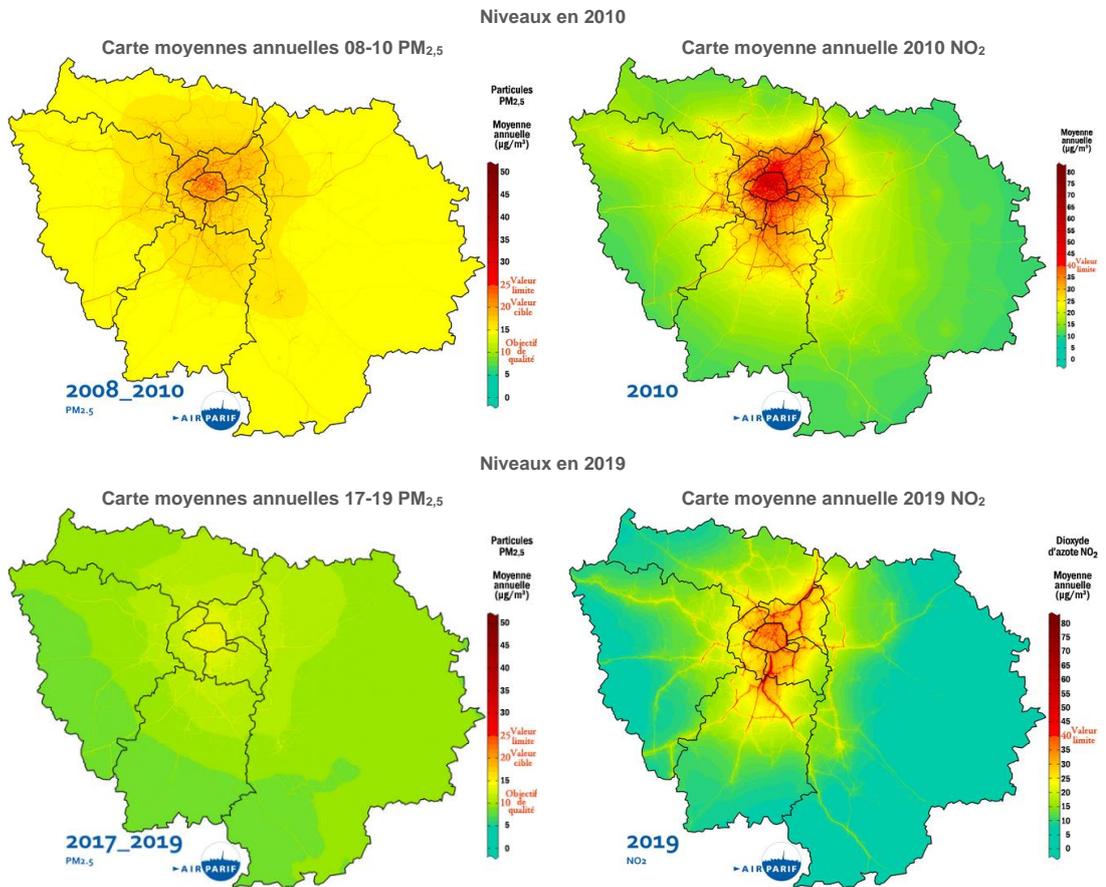
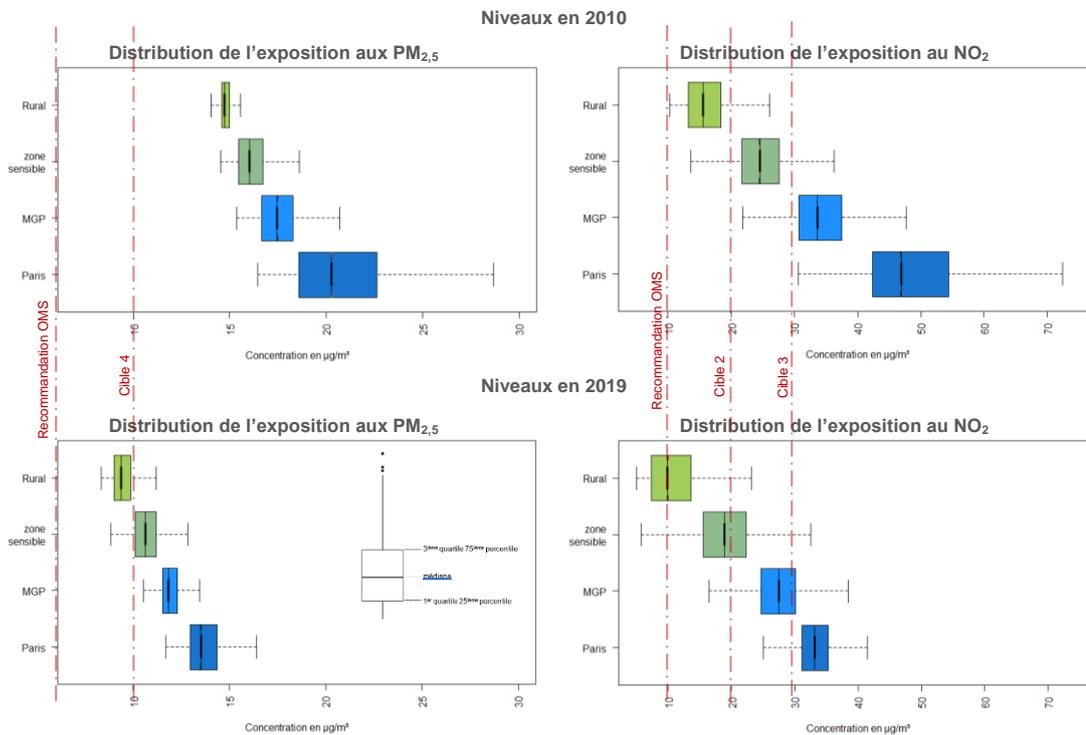


Figure 7 : Distribution de l'exposition aux niveaux moyens annuels de PM_{2,5} et NO₂ (en µg/m³) de la population au bâtiment selon le lieu de résidence sur les deux périodes étudiées



Sur cette figure (Figure 7), l'échelle des abscisses a été conservée entre 2010 et 2019 et les graphiques ont été superposés afin de mieux visualiser les baisses d'exposition par territoire. Ainsi, on constate par exemple que les niveaux d'exposition aux PM_{2,5} actuellement observés à Paris se situent dans la gamme, et même en deçà, des niveaux observés en 2010 en zone rurale. Malgré tout, la population reste exposée à des niveaux bien supérieurs à la nouvelle recommandation de l'OMS, y compris en zone rurale. Ainsi l'exposition moyenne au PM_{2,5} est de 9,6 µg/m³ en zone rurale et 13,7 µg/m³ à Paris (Tableau 9). Pour le NO₂, la baisse est particulièrement marquée à Paris, la valeur médiane actuelle correspond aux niveaux d'exposition les plus faibles observés en 2010, ainsi, même si Paris reste le secteur où la population est la plus exposée, les écarts avec les territoires périphériques se sont réduits et la distribution des niveaux d'exposition est plus resserrée.

Tableau 9 : Niveau moyen d'exposition de la population dans les territoires pour les deux périodes étudiées

Polluants	Périodes	Paris	MGP	Zone sensible	Rural
PM _{2,5}	2008-10	20,8	18,3	16,4	14,9
	2017-19	13,7	12,3	10,8	9,6
NO ₂	2010	49,0	36,9	25,9	16,5
	2019	34,4	29,1	19,9	11,2

La nette amélioration de la qualité de l'air constatée est due à des réductions des émissions importantes d'oxydes d'azote (NOx) et de particules primaires de PM₁₀. Les évolutions d'émissions sont toutefois très différentes selon les secteurs d'activités. Une analyse plus détaillée de ces évolutions est proposée en annexe (Annexe 2).

Expositions aux niveaux actuels d'ozone

Concernant l'indicateur d'exposition prolongée à l'ozone, comme indiqué dans le tableau ci-après (Tableau 10), plus de la moitié de la population est exposée à un niveau supérieur à 84,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ avec une amplitude de niveaux comprise entre 80,3 et 91,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui est largement supérieur à la valeur recommandée par l'OMS qui se situe à 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

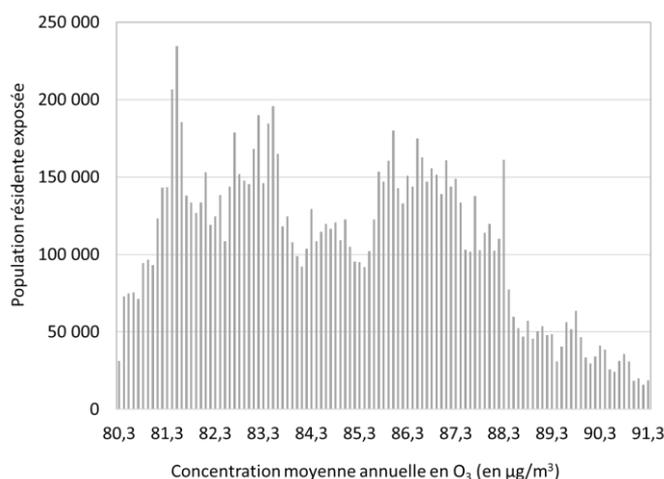
Tableau 10 : Distribution des niveaux moyens¹ d'exposition de la population résidente à l'ozone (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sur la période 2017-2019

Polluants	Périodes	min	p5	p25	p50	p75	p95	max	Moy.
O ₃	2017-19	80,3	91,0	82,7	84,8	87,0	89,7	91,9	84,9

¹ moyenne des maximums journaliers de la moyenne sur 8 heures glissantes d'avril à septembre

Comme précédemment, il a été estimé, pour différentes classes de niveaux d'ozone, l'effectif de population résidente concerné afin de fournir une représentation de la distribution de l'exposition au sein de la population francilienne (Figure 8).

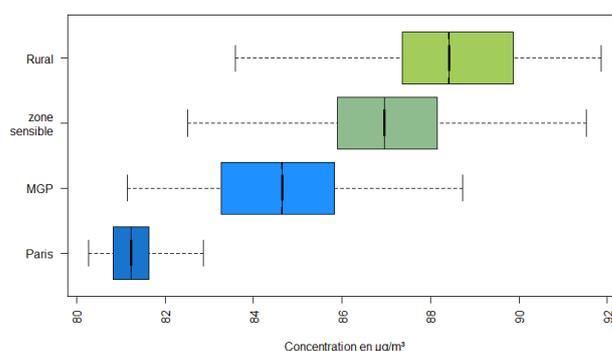
Figure 8 : Distribution de la population résidente exposée aux niveaux moyens¹ d'ozone (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sur la période 2017-19



¹ moyenne des maximums journaliers de la moyenne sur 8 heures glissantes d'avril à septembre

La moyenne des maximum journaliers de la moyenne sur 8 heures glissantes présente peu de variabilité au regard de la gamme de concentrations sur l'Île-de-France, et sa représentation cartographique en moyenne sur 3 ans n'est pas illustrative. Contrairement aux PM_{2,5} et au NO₂, les niveaux les plus élevés sont cependant observés dans la zone rurale, avec un gradient depuis Paris vers la périphérie comme illustré sur la distribution des niveaux d'exposition par sous-zones (Figure 9).

Figure 9 : Distribution de l'exposition aux niveaux moyens¹ d'ozone (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de la population au bâtiment selon le lieu de résidence sur la période 2017-2019



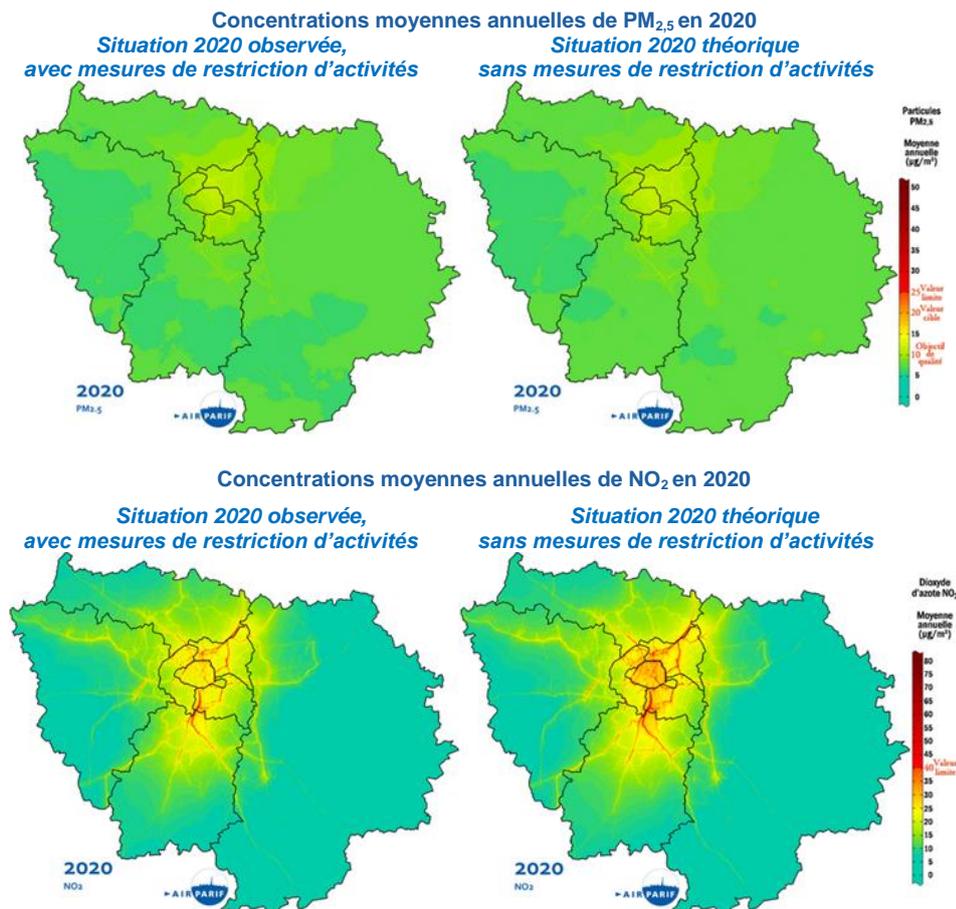
¹ moyenne des maximums journaliers de la moyenne sur 8 heures glissantes d'avril à septembre

Effet des mesures de restriction mises en œuvre au cours de l'année 2020

Une analyse détaillée des effets des mesures de restriction a été réalisée par Airparif et a fait l'objet d'un rapport complet [16], les principales conclusions sont rapportées ici.

La figure suivante (Figure 10) présente les cartes de la concentration moyenne en NO₂ et PM_{2,5} en Île-de-France avec à gauche, la carte de la situation réellement observée, et à droite, la carte de la situation que l'on aurait eu s'il n'y avait pas eu de restrictions d'activités liées à la pandémie [16].

Figure 10 : Cartes annuelles de PM_{2,5} et NO₂ en 2020 observées "avec Covid-19" et théoriques "sans Covid-19" [16]



Pour le NO₂, en zone dense, et particulièrement dans Paris, il apparaît nettement que les concentrations de la situation « sans Covid-19 » sont plus élevées que dans la situation réelle, avec une baisse médiane qui se situe à 1,8 µg/m³ et un maximum à 12,5 µg/m³ (Tableau 20). Des écarts de concentrations significatifs sont visibles sur les axes routiers parisiens, ainsi que sur les axes majeurs de la région alors qu'en situation de fond (loin de l'influence directe des axes routiers), les concentrations moyennes estimées en situation théorique « sans Covid-19 » sont proches de la situation réelle en petite et grande couronne francilienne [16].

En ce qui concerne les PM_{2,5}, l'impact des restrictions apparaît beaucoup plus faible en raison d'une plus grande diversité de sources. De ce fait, l'impact de la très forte diminution du trafic routier est plus limité que pour le NO₂, et les baisses des émissions routières ont potentiellement été en partie compensées par une augmentation des émissions du secteur résidentiel, et notamment du chauffage au bois, les franciliens ayant été davantage à leur domicile [16]. Ainsi le niveau de baisse médian se situe à 0,22 µg/m³ et le maximum à 1,14 µg/m³ (Tableau 11).

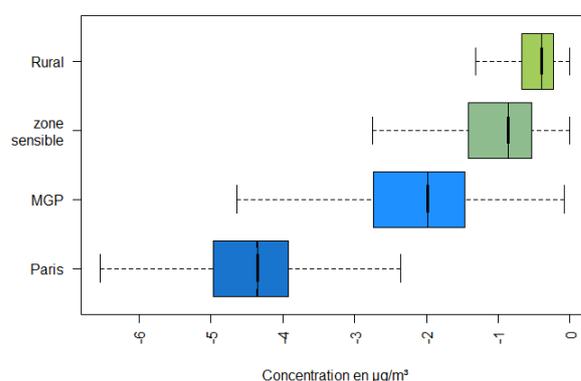
Tableau 11 : Distribution du différentiel des niveaux d'exposition aux PM_{2,5} et NO₂ (en µg/m³) entre observés "avec Covid-19" et théoriques "sans Covid-19"

Polluants	min	p5	p25	p50	p75	p95	max	Moy.
NO ₂	0	0,28	0,90	1,82	3,32	4,93	12,53	2,17
PM _{2,5} *	0	0,02	0,11	0,20	0,26	0,36	1,14	0,19

* Impact non significatif des mesures de restriction sur les niveaux de PM_{2,5} en zone rurale, ainsi ce descriptif ne porte que sur le périmètre qui correspond à la zone sensible

La distribution de l'exposition au différentiel de niveau de polluant « avec et sans Covid-19 » selon le lieu de résidence confirme ce constat visuel, avec des baisses nettement plus marquées pour les parisiens en ce qui concerne le NO₂ (Figure 11).

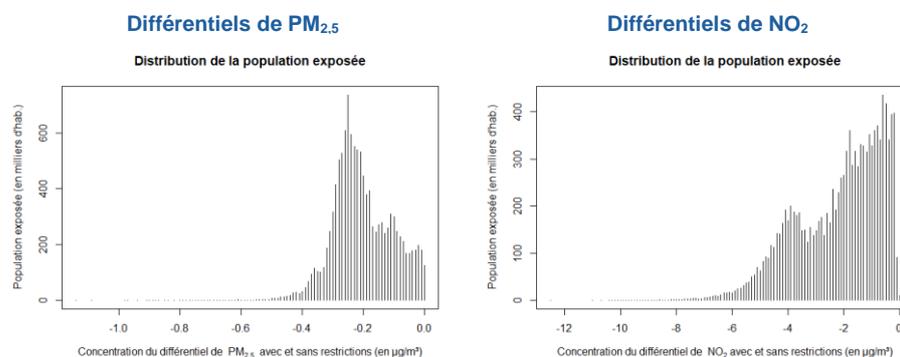
Figure 11 : Distribution de l'exposition au différentiel de NO₂ (en µg/m³) « avec et sans Covid-19 » de la population au bâtiment selon le lieu de résidence



En ce qui concerne les PM_{2,5}, la distribution géographique est beaucoup plus homogène, avec toutefois un impact non significatif en zone rurale compte-tenu des faibles niveaux observés actuellement dans ces territoires.

Il a été estimé l'effectif de population résidente concerné par ces différentiels afin de fournir une représentation de la distribution de l'exposition au sein de la population francilienne (Figure 12).

Figure 12 : Distribution de la population résidente exposée en 2020 aux différentiels de PM_{2,5} et NO₂ (en µg/m³) entre niveaux observés "avec Covid-19" et théoriques "sans Covid-19"



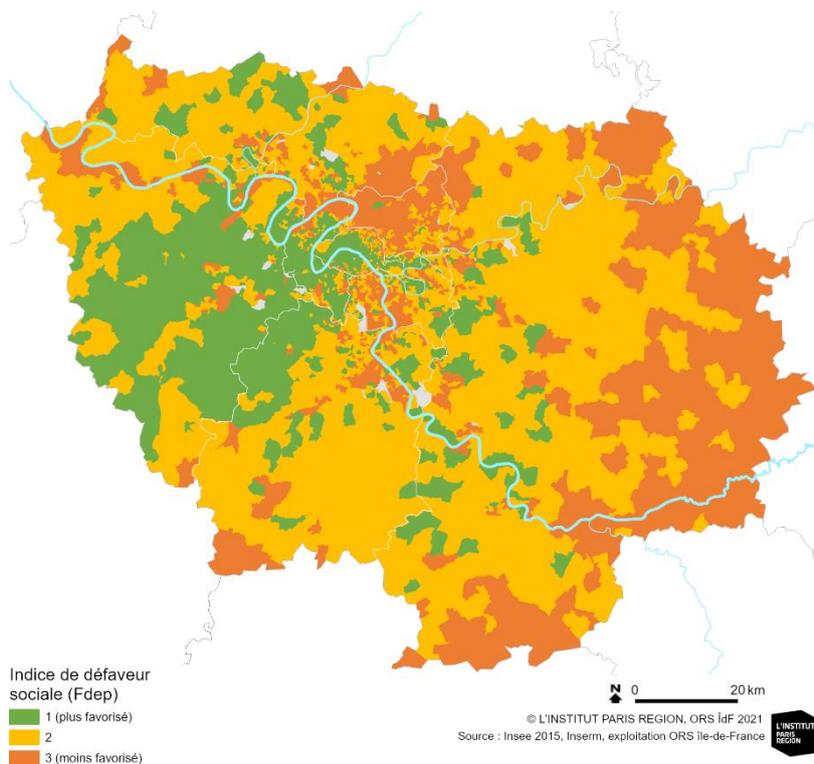
3.1.3 Niveau de défaveur sociale

Le tableau suivant décrit la répartition de la population selon le niveau de défaveur sociale estimé à partir du Fdep, au sein des quatre sous-périmètres (Tableau 12).

Tableau 12. Distribution de la population selon le niveau de l'indice de défaveur sociale (Fdep) pour les quatre périmètres

Fdep	1 (plus favorisé)	2	3 (moins favorisé)
Paris	67,7%	21,5%	10,7%
MGP	29,7%	27,5%	42,8%
Zone sensible	25,5%	42,0%	32,5%
Rural	16,7%	54,0%	29,3%

Figure 13 : Carte de la défaveur sociale (Fdep)



3.2 Résultats des EQIS

3.2.1 Evolution de la mortalité attribuable à la pollution atmosphérique entre 2010 et 2019

Entre 2010 et 2019, le nombre annuel de décès attribuables à l'exposition à long terme aux PM_{2,5} est passé de 10 350 à 6 220 soit une baisse de 40 %. La part de décès attribuables est passée de 16,5 % à 9 % soit une baisse de 46 %. Cela représente un gain brut moyen d'espérance de vie de près de 8 mois. Tous les territoires ont bénéficié de cette amélioration avec un bénéfice particulièrement marqué à Paris qui bénéficie d'un gain brut d'espérance de vie moyen de près de 10 mois (Tableau 13).

La baisse des niveaux moyens annuels de particules fines (PM_{2,5}) a permis une réduction de 40 % de la mortalité annuelle attribuable à l'exposition chronique à ce polluant.

Tableau 13 : Comparaison de la mortalité attribuable à l'exposition à long terme aux PM_{2,5} en 2010 et en 2019 (niveaux de PM_{2,5} ramenés à 5 µg/m³)

Périmètre	Indicateurs	2010 ^(a)	2019 ^(b)	% évolution / gain d'espérance de vie (en mois)
Paris	Niveau moyen d'exposition	20,8 µg/m ³	13,7 µg/m ³	- 34 %
	Décès attribuables	2 620 [980 ; 3 920]	1 500 [540 ; 2 300]	- 42,9 %
	Part attribuable (%)	19,8 [7,4 ; 29,7]	11,4 [4,1 ; 17,6]	- 42 %
	Impact moyen sur l'espérance de vie (en mois)	20 [7,3 ; 30,5]	10,4 [3,7 ; 16,2]	+ 9,6 mois
	Population (30+)	1 356 769	1 344 958	- 0,9 %
	Décès totaux observés (30+)	13 220	13 093	- 1,0 %
	MGP (hors Paris)	Niveau moyen d'exposition	18,3 µg/m ³	12,3 µg/m ³
Décès attribuables		4 190 [1 560 ; 6 340]	2 620 [940 ; 4 060]	- 37,5 %
Part attribuable (%)		16,9 [6,3 ; 25,6]	9,7 [3, ; 15]	- 43 %
Impact moyen sur l'espérance de vie (en mois)		16,7 [6,1 ; 25,8]	8,9 [3,2 ; 13,9]	+ 7,9 mois
Population (30+)		2 677 971	2 838 283	6,0 %
Décès totaux observés (30+)		24 815	27 148	9,4 %
Zone sensible (hors MGP)		Niveau moyen d'exposition	16,4 µg/m ³	10,8 µg/m ³
	Décès attribuables	2 600 [950 ; 3 950]	1 580 [570 ; 2 460]	- 39,1 %
	Part attribuable (%)	14,9 [5,5 ; 22,6]	7,8 [2,8 ; 12,1]	- 48 %
	Impact moyen sur l'espérance de vie (en mois)	13,7 [4,9 ; 21,2]	6,5 [2,3 ; 10,3]	+ 7,2 mois
	Population (30+)	2 028 158	2 210 408	9,0 %
	Décès totaux observés (30+)	17 463	20 345	16,5 %
	Rural	Niveau moyen d'exposition	14,9 µg/m ³	9,6 µg/m ³
Décès attribuables		940 [340 ; 1 440]	530 [190 ; 820]	- 44,0 %
Part attribuable (%)		12,9 [4,7 ; 19,8]	6,1 [2,2 ; 9,5]	- 53 %
Impact moyen sur l'espérance de vie (en mois)		13,1 [4,7 ; 20,4]	5,9 [2,1 ; 9,3]	+ 7,2 mois
Population (30+)		696 438	791 044	13,6 %
Décès totaux observés (30+)		7 288	8 679	19,1 %
Île-de-France (total)		Niveau moyen d'exposition	16,6 µg/m ³	11,8 µg/m ³
	Décès attribuables	10 350 [3 840 ; 15 660]	6 220 [2 240 ; 9 650]	- 40,0 %
	Part attribuable (%)	16,5 [6,1 ; 24,9]	9,0 [3,2 ; 13,9]	- 46 %
	Impact moyen sur l'espérance de vie (en mois)	15,6 [5,7 ; 24,1]	7,7 [2,7 ; 12,1]	+ 7,9 mois
	Population (30+)	6 759 337	7 184 694	6,3 %
	Décès totaux observés (30+)	62 786	69 266	10,3 %

La baisse des niveaux moyens annuels de NO₂ a permis une réduction de 26 % de la mortalité annuelle attribuable à l'exposition chronique à ce polluant.

^(a) PM_{2,5} (Airparif 2008-10), population des ménages (RP 2009 Insee) et décès (CepiDc 2004-08)

^(b) PM_{2,5} (Airparif 2017-19), population des ménages (RP 2016 Insee) et décès (CepiDc 2011-15)

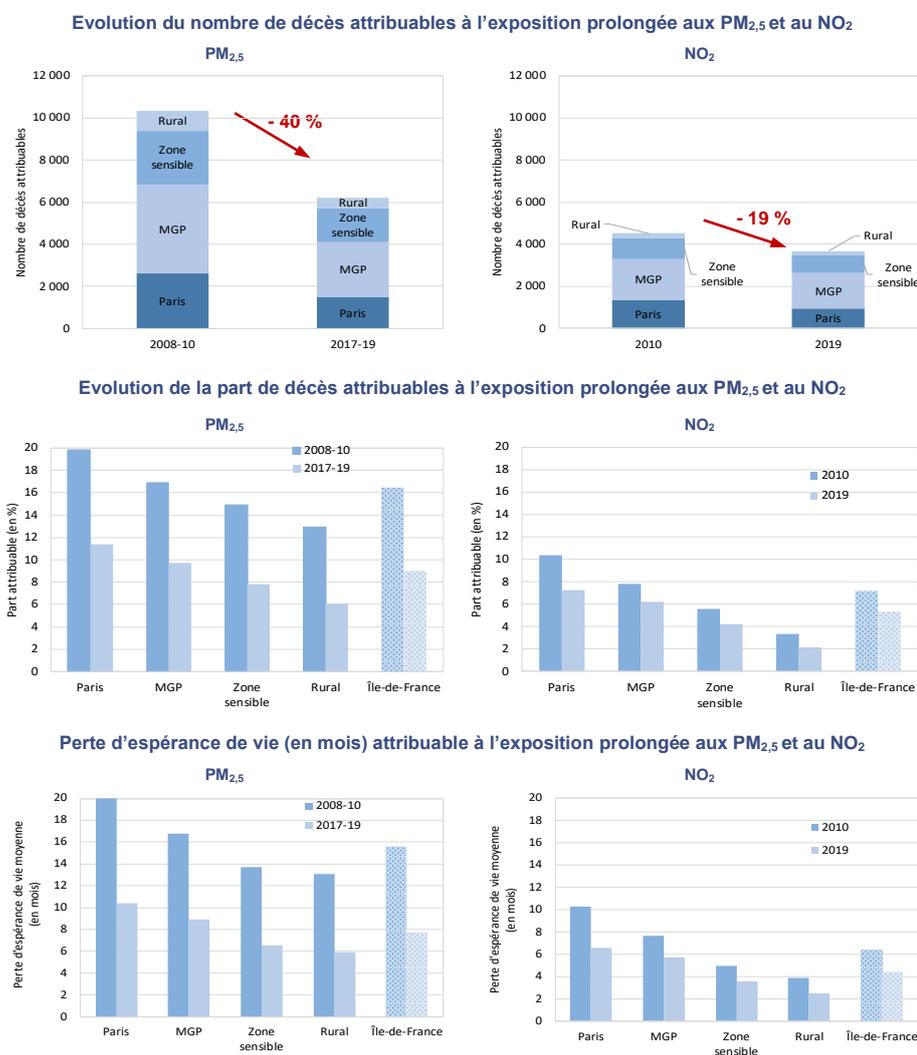
Entre 2010 et 2019, le nombre annuel de décès attribuables à l'exposition prolongée au NO₂ est passé de 4 520 à 3 680 soit une baisse de près de 19 %. La part de décès attribuables est passée de 7,2 % à 5,3 % soit une baisse de 26 % et un gain brut moyen d'espérance de vie de 2 mois. Tous les territoires ont bénéficié de cette amélioration avec, encore une fois, des bénéfices particulièrement marqués à Paris, avec une baisse de plus de 30 % des décès et un gain brut d'espérance de vie moyen qui s'élève à près de 4 mois (Tableau 14).

Tableau 14 : Comparaison de la mortalité attribuable à l'exposition prolongée au NO₂ en 2010 et en 2019 (niveaux de NO₂ ramenés à 1 µg/m³)

Périmètre	Indicateurs	2010 ^(a)	2019 ^(b)	% évolution / gain d'espérance de vie (en mois)
Paris	Niveau moyen d'exposition	49,0 µg/m ³	34,4 µg/m ³	- 30 %
	Décès attribuables	1 370 [500 ; 2 110]	950 [340 ; 1 490]	- 30,2 %
	Part attribuable (%)	8,5 [3,1 ; 13,2]	5,4 [1,9 ; 8,4]	- 29 %
	Impact moyen sur l'espérance de vie (en mois)	10,3 [3,7 ; 16]	6,6 [2,3 ; 10,3]	+ 3,7 mois
	Population (30+)	1 356 769	1 344 958	- 0,9 %
	Décès totaux observés (30+)	13 220	13 093	- 1,0 %
MGP (hors Paris)	Niveau moyen d'exposition	36,9 µg/m ³	29,1 µg/m ³	- 21 %
	Décès évitables	1 950 [700 ; 3 030]	1 680 [600 ; 2 630]	- 13,8 %
	Part attribuable (%)	5,9 [2,1 ; 9,3]	4,2 [1,5 ; 6,7]	- 21 %
	Perte moyenne d'espérance de vie (en mois)	7,7 [2,7 ; 12]	5,7 [2 ; 9]	+ 1,9 mois
	Population (30+)	2 677 971	2 838 283	+ 6,0 %
	Décès totaux observés (30+)	24 815	27 148	+ 9,4 %
Zone sensible (hors MGP)	Niveau moyen d'exposition	25,9 µg/m ³	19,9 µg/m ³	- 23 %
	Décès attribuables	970 [350 ; 1 520]	860 [300 ; 1 350]	- 11,2 %
	Part attribuable (%)	3,6 [1,3 ; 5,7]	2,2 [0,8 ; 3,5]	- 24 %
	Impact moyen sur l'espérance de vie (en mois)	5 [1,8 ; 7,8]	3,6 [1,3 ; 5,6]	+ 1,4 mois
	Population (30+)	2 028 158	2 210 408	+ 9,0 %
	Décès totaux observés (30+)	17 463	20 345	+ 16,5 %
Rural	Niveau moyen d'exposition	16,5 µg/m ³	11,2 µg/m ³	- 32 %
	Décès attribuables	240 [90 ; 380]	190 [70 ; 300]	- 23,0 %
	Part attribuable (%)	1,3 [0,5 ; 2,1]	0,4 [0,2 ; 0,7]	- 33 %
	Impact moyen sur l'espérance de vie (en mois)	3,9 [1,4 ; 6,2]	2,5 [0,9 ; 4]	+ 1,4 mois
	Population (30+)	696 438	791 044	+ 13,6 %
	Décès totaux observés (30+)	7 288	8 679	+ 19,1 %
Île-de-France (total)	Niveau moyen d'exposition	33,5 µg/m ³	25,3 µg/m ³	- 24 %
	Décès attribuables	4 520 [1 630 ; 7 050]	3 680 [1 310 ; 5 770]	- 18,7 %
	Part attribuable (%)	7,2 [2,6 ; 11,2]	5,3 [8,3 ; 1,9]	- 26 %
	Impact moyen sur l'espérance de vie (en mois)	6,5 [2,3 ; 10,1]	4,4 [1,6 ; 7]	+ 2 mois
	Population (30+)	6 759 337	7 184 694	+ 6,3 %
	Décès totaux observés (30+)	62 786	69 266	+ 10,3 %

Ainsi l'amélioration constante de la qualité de l'air en Île-de-France constitue un bénéfice particulièrement important pour la santé publique (Figure 14).

Figure 14 : Comparaison de la mortalité attribuable à l'exposition prolongée aux PM_{2,5} et au NO₂ en 2010 et en 2019



¹ références : niveaux de NO₂ ramenés à 1 µg/m³ et niveaux de PM_{2,5} ramenés à 5 µg/m³

3.2.2 Impact sanitaire de la pollution de l'air en Île-de-France aux niveaux actuels (année de référence 2019)

Nombre et part de décès attribuable et impacts sur l'espérance de vie

De l'ordre de 6 200 décès annuels pourraient être évités en Île-de-France si les niveaux moyens annuels de PM_{2,5} observés actuellement (années de référence 2017-19) étaient ramenés aux niveaux recommandés par l'OMS, cela représente environ 9 % des décès observés et un gain moyen d'espérance de vie de près de 8 mois.

De même, de l'ordre de 2 350 décès annuels pourraient être évités en Île-de-France si les niveaux moyens annuels de NO₂ observés actuellement (année de référence 2019) étaient ramenés aux niveaux recommandés par l'OMS, cela représente environ 3,4 % des décès observés et un gain moyen d'espérance de vie de près de 2,7 mois.

Ces deux chiffres ne peuvent pas être directement additionnés car une partie des décès liés à ces expositions se recoupe. En effet, les relations exposition-risque établies dans les études épidémiologiques n'estiment pas que l'effet propre du polluant considéré mais

De l'ordre de 6 200 décès pourraient être évité annuellement sur les niveaux actuels de PM_{2,5} étaient ramenés aux niveaux recommandés par l'OMS.

aussi les effets d'autres polluants émis par les mêmes sources. A l'heure actuelle, il n'y a pas de consensus pour dire en quelle proportion ces effets se recourent.

Par ailleurs, de l'ordre de 1 700 décès annuels pourraient être évités en Île-de-France si les niveaux moyens annuels d'O₃ observés actuellement étaient ramenés aux niveaux recommandés par l'OMS, cela représente environ 2,4 % des décès observés et un gain moyen d'espérance de vie de près de 2,2 mois.

Ces résultats, les bénéfices attendus pour les scénarios intermédiaires ainsi que le poids total, soit un scénario « pollution anthropique minimale », sont présentés dans le tableau ci-après (Tableau 15).

Tableau 15 : Nombre et part de décès évitables, et gain moyen en espérance de vie dans la population des plus de 30 ans selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de trois polluants atmosphériques

Polluants	Niveaux de référence	Nombre annuel de décès évitables	Part des décès évitables (en %)	Gain moyen en espérance de vie (en mois)
PM _{2,5}	10 µg/m ³ Cible intermédiaire 4	1 760 [620 ; 2 770]	2,5 [4 ; 0,9]	2,0 [0,7 ; 3,1]
	5 µg/m³ recommandation OMS	6 220 [2 240 ; 9 650]	9,0 [3,2 ; 13,9]	7,7 [2,7 ; 12,1]
NO ₂	30 µg/m ³ Cible intermédiaire 3	230 [80 ; 360]	0,3 [0,1 ; 0,5]	0,3 [0,1 ; 0,4]
	20 µg/m ³ Cible intermédiaire 2	1 060 [370 ; 1 670]	1,5 [0,5 ; 2,4]	1,2 [0,4 ; 1,9]
	10 µg/m³ recommandation OMS	2 350 [830 ; 3 700]	3,4 [1,2 ; 5,3]	2,7 [1 ; 4,3]
	1 µg/m ³ Pollution anthropique minimale	3 680 [1310 ; 5 770]	5,3 [1,9 ; 8,3]	4,4 [1,6 ; 7]
O ₃	70 µg/m ³ Cible intermédiaire 2	1 020 [0 ; 2 020]	1,5 [0 ; 2,9]	1,3 [0 ; 2,6]
	60 µg/m³ recommandation OMS	1 700 [0 ; 3 330]	2,4 [0 ; 4,8]	2,2 [0 ; 4,3]
	55 µg/m ³ Pollution anthropique minimale	2 030 [0 ; 3 980]	2,9 [0 ; 5,8]	2,6 [0 ; 5,2]

Analyse de l'impact différencié selon les territoires

Afin de donner une lecture plus fine des enjeux, ses estimations sont détaillées pour les quatre sous-territoires préalablement définis : Paris, la Métropole du Grand Paris (hors Paris), la zone sensible (hors métropole) et le reste de l'Île-de-France assimilé à la zone rurale. Ces résultats sont présentés ci-après sous forme graphique (Figure 15 à Figure 35) et les chiffres détaillés figurent en annexe (Annexe 3).

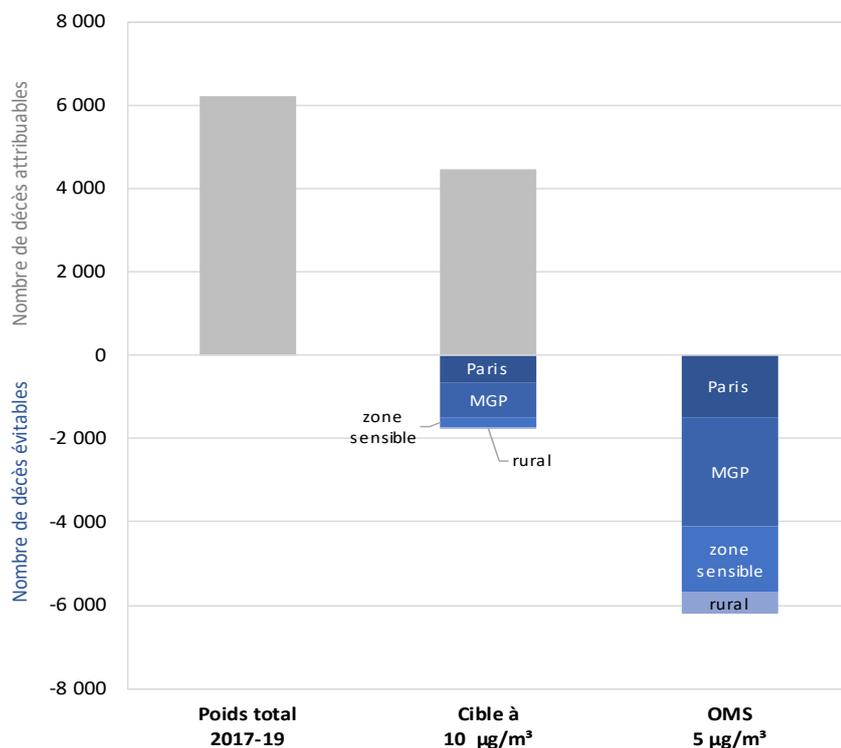
En complément, une représentation géographique à différents échelons géographiques est fournie pour le scénario « niveaux actuels ramenés aux valeurs recommandées par l'OMS » (soit 5 µg/m³ pour les PM_{2,5}, 10 µg/m³ pour le NO₂ et 60 µg/m³ pour l'O₃).

Atteindre les niveaux recommandés par l'OMS engendrerait des bénéfices pour tous les territoires mais ils seraient plus marqués dans la zone dense, à la fois plus polluée et plus peuplée.

> **Impacts sanitaires de l'exposition à long terme aux PM_{2,5}**

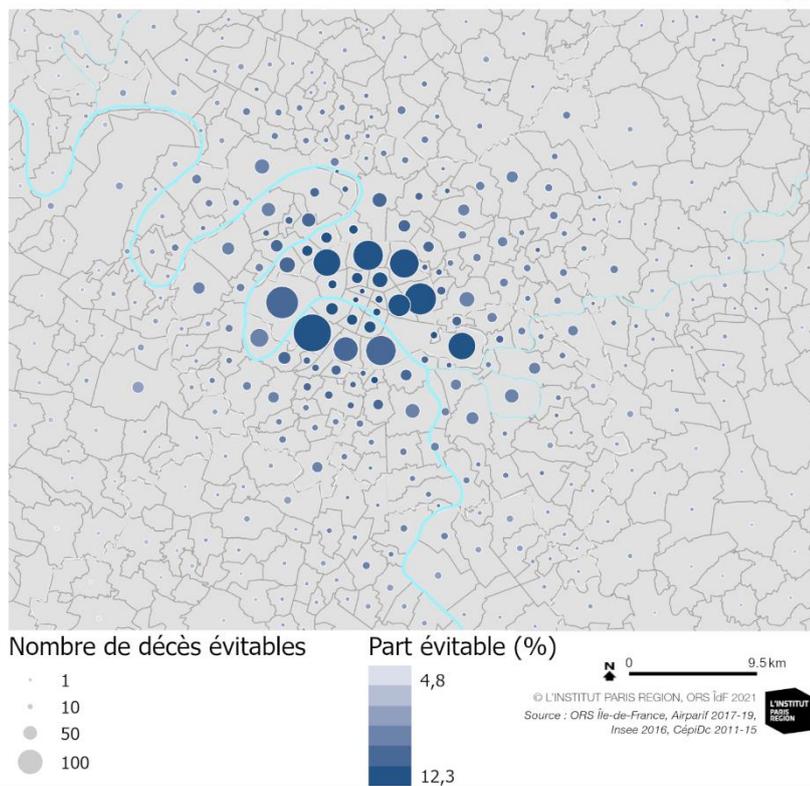
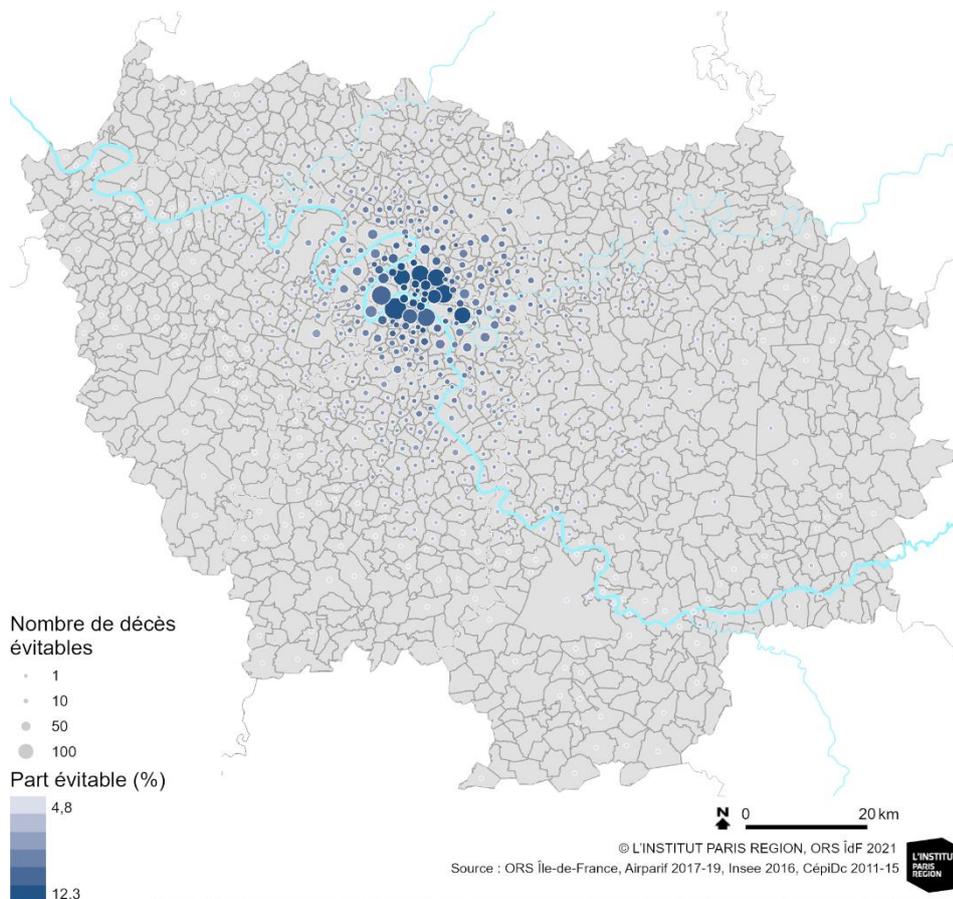
Pour ce polluant, les bénéfices seraient particulièrement importants pour Paris et le reste de la métropole qui regrouperaient les deux-tiers des décès évitables si les niveaux moyens annuels de PM_{2,5} observés actuellement étaient ramenés aux valeurs recommandées par l'OMS (5 µg/m³). Ceci s'explique par les niveaux de PM_{2,5} plus élevés dans ces territoires conjugués à une densité importante de population. Une baisse de l'ordre de 530 décès serait tout de même attendue en zone rurale (zone périphérique). Ces bénéfices deviendraient négligeables dans cette zone pour un objectif à 10 µg/m³ étant donné que cette concentration est atteinte sur la quasi-totalité de ce territoire donc aucun abattement de pollution n'est pris en compte.

Figure 15 : Nombre de décès évitables chez les plus de 30 ans selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de PM_{2,5} et mise en perspective avec le poids total



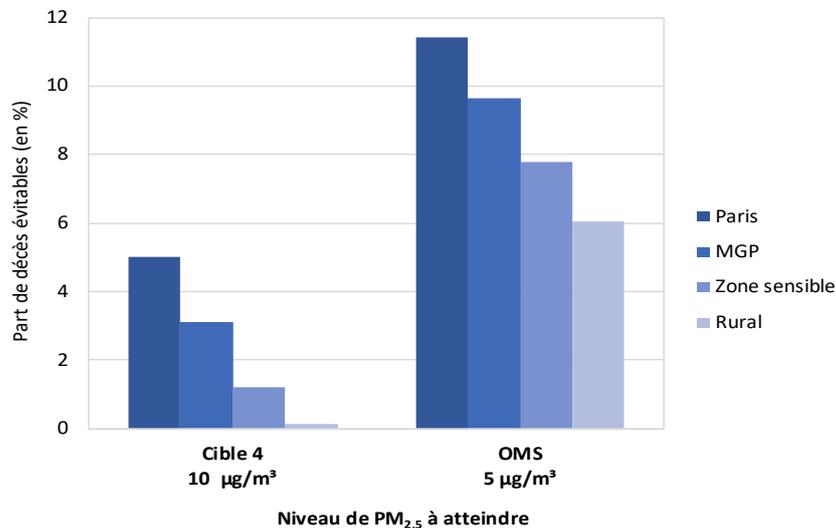
La carte ci-après illustre la répartition au niveau communal de l'impact de l'exposition prolongée aux PM_{2,5} (référence à 5 µg/m³) et fait ressortir le cœur dense de l'agglomération parisienne et en particulier les arrondissements périphériques parisiens (Figure 16).

Figure 16 : Nombre (et part) de décès évitables au niveau communal si les niveaux actuels de PM_{2,5} étaient ramenés à une moyenne annuelle de 5 µg/m³ (recommandation OMS)



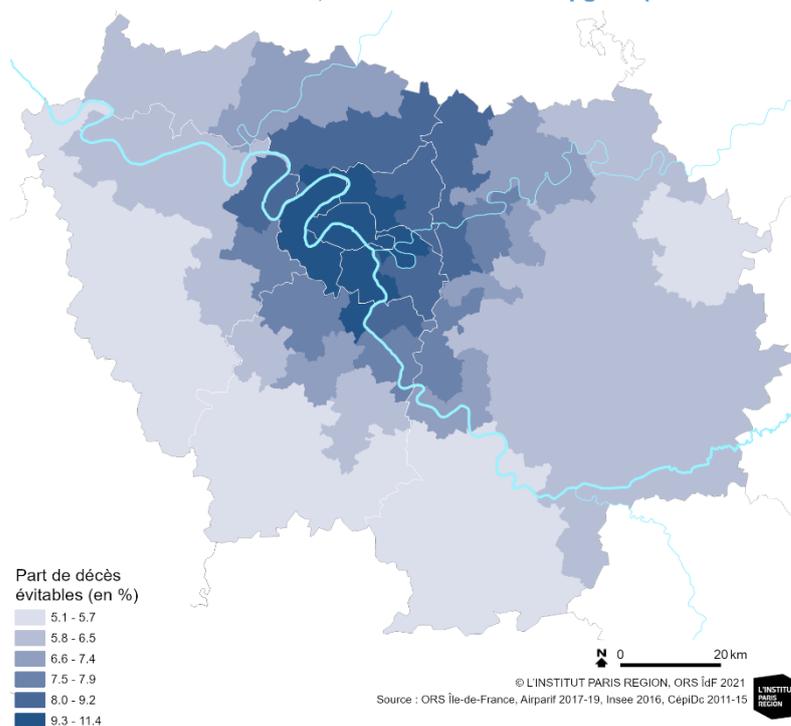
La part de décès évités s'échelonnerait entre 11,4 % à Paris et 6,1 % en zone rurale pour l'objectif de 5 µg/m³ (Figure 17).

Figure 17 : Part de décès évitables dans la population des plus de 30 ans selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de PM_{2,5} pour chaque périmètre



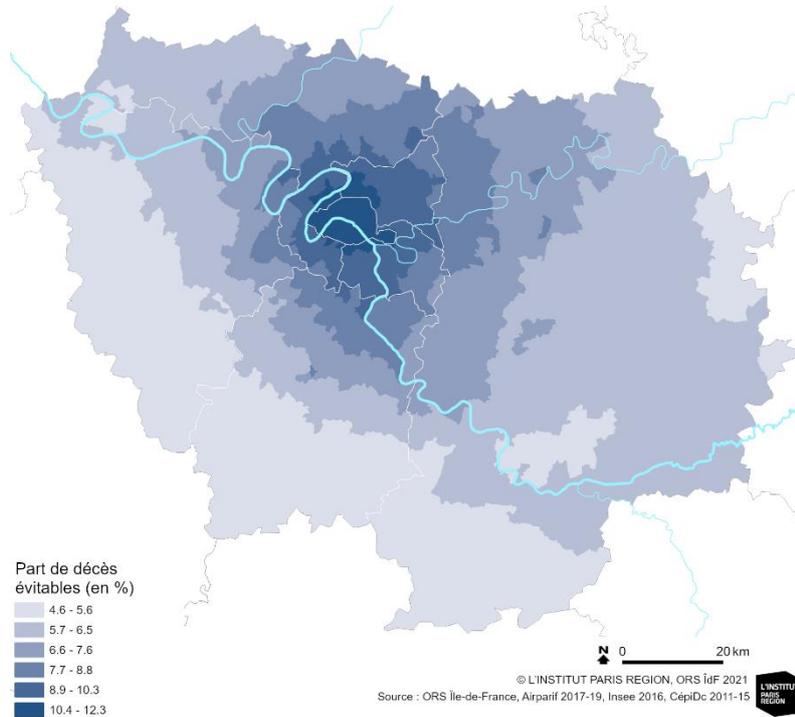
Les cartes ci-après permettent de visualiser sous forme cartographique la part de décès attribuables, en prenant pour référence la valeur recommandée par l'OMS (5 µg/m³), selon une géographie plus fine, illustrant ainsi les écarts entre les territoires. Plus les niveaux d'exposition sont élevés, plus cette valeur est élevée, la densité de population ne modifie pas cette valeur. La première carte fournit une représentation à l'échelle des intercommunalités (Figure 18). Les données chiffrées correspondant à cette carte sont fournies en annexe (Annexe 4).

Figure 18 : Part de décès évitables à l'intercommunalité chez les plus de 30 ans si les niveaux actuels de PM_{2,5} étaient ramenés à 5 µg/m³ (recommandation OMS)



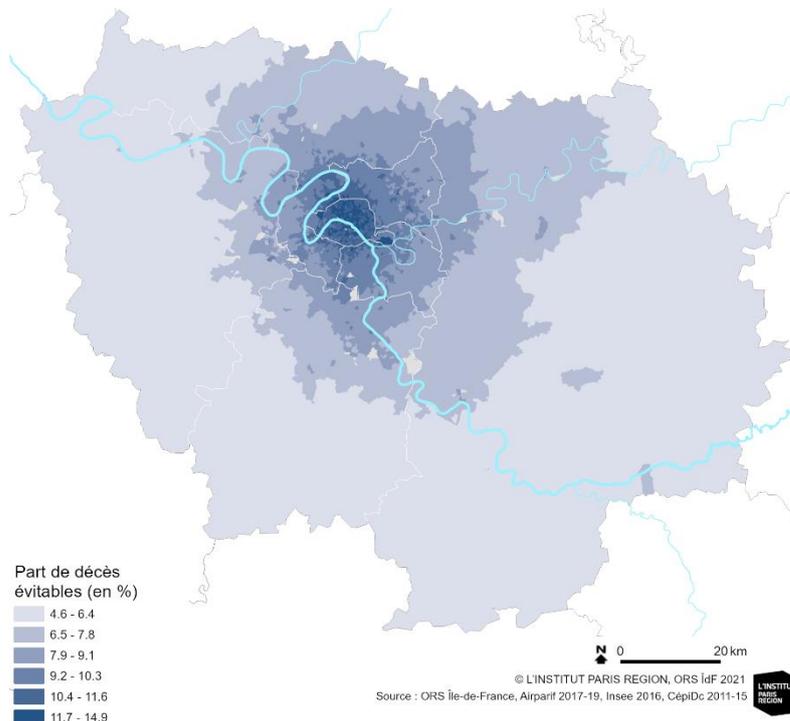
Les cartes suivantes proposent une déclinaison territoriale plus fine, à la commune et à l'Iris (Figure 19 Figure 20). A noter que d'une carte à l'autre les classes ne correspondent pas, la gamme de valeurs devenant plus étendue et les contrastes plus importants. Sans surprise, le « motif » que l'on observe, à savoir une part de décès évitables maximales dans le cœur d'agglomération et une décroissance continue au fur et mesure de l'éloignement vers la périphérie, se calque sur le profil des concentrations annuelles moyennes en $PM_{2,5}$ observées.

Figure 19 : Part de décès évitables à la commune chez les plus de 30 ans si les niveaux actuels de $PM_{2,5}$ étaient ramenés à $5 \mu g/m^3$ (recommandation OMS)



La représentation à l'échelle de l'Iris (Figure 20) permet de faire ressortir les contrastes infra-communaux. En revanche, le nombre de décès évitables ne peut pas être estimé à ce niveau géographique car les données de mortalité observées ne sont pas diffusées à si fine échelle. En deçà de l'échelon communal, les incertitudes deviennent trop importantes.

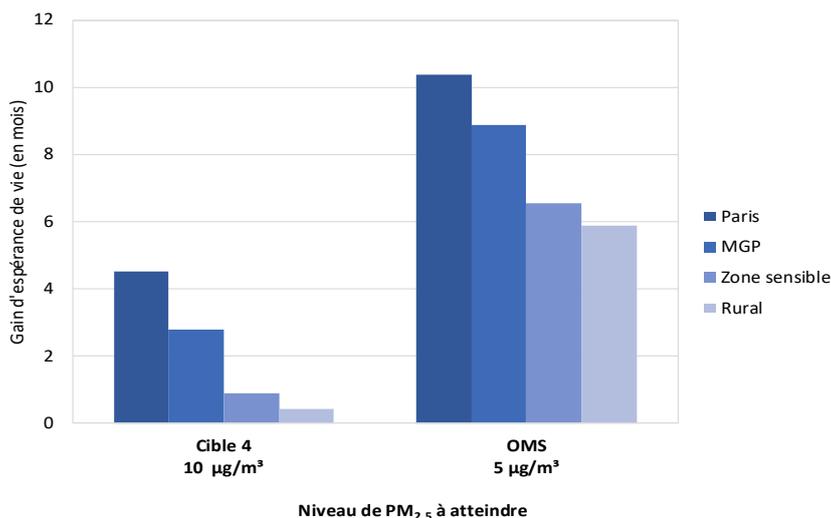
Figure 20 : Part de décès évitables à l'îlot de recensement (Iris) chez les plus de 30 ans si les niveaux actuels de PM_{2,5} étaient ramenés à 5 µg/m³ (recommandation OMS)



Note de lecture : les Iris pour lesquels aucune population des ménages n'était recensée dans notre base bâtiment apparaissent en gris.

Si les niveaux actuels de PM_{2,5} étaient ramenés à une moyenne annuelle de 5 µg/m³ (recommandation OMS), les gains moyens en espérance de vie s'élèveraient de 6 mois en zone rurale à un peu plus de 10 mois à Paris et 9 mois dans le reste de la métropole (Figure 21).

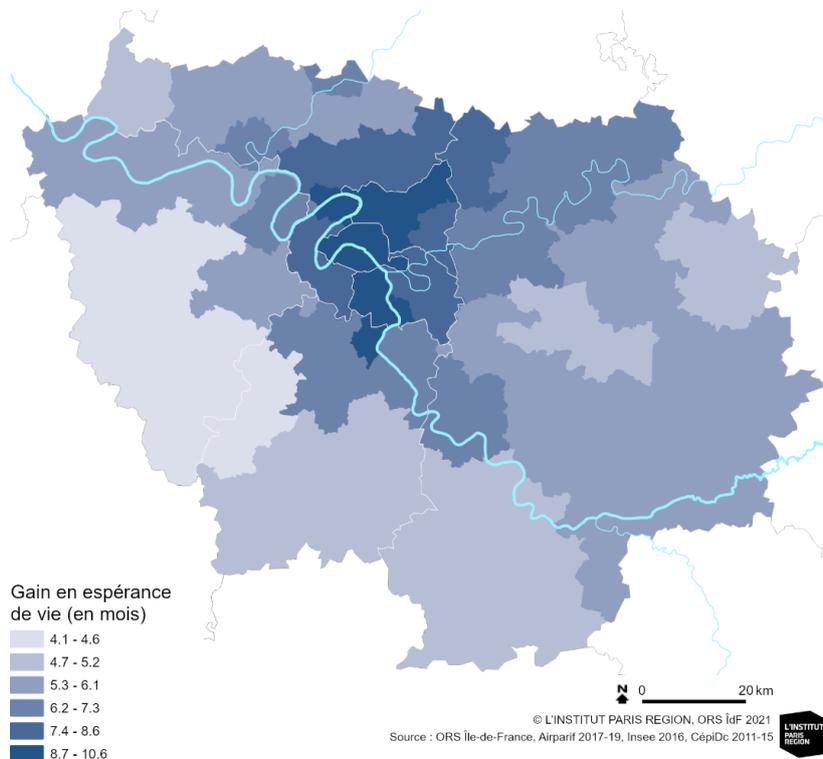
Figure 21 : Gains moyens en espérance de vie (en mois) selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de PM_{2,5}



La représentation géographique ci-dessous (Figure 22), illustre les contrastes au sein des quatre sous-zones géographiques prédéfinies. Cela fait notamment ressortir la frange Est de l'Île-de-France. Les territoires concernés, bien que relativement épargnés par la pollution de l'air, sont marqués par des taux de mortalité observée particulièrement dégradés par rapport au reste de la région (voir Figure 3 § 3.1.1 p. 29). Cette géographie

illustre le fait que nous ne sommes pas tous égaux face à la pollution de l'air, en proportion, les impacts sont plus importants dans les populations dont l'état sanitaire est moins bon.

Figure 22 : Gains en espérance de vie à 30 ans à l'intercommunalité si les niveaux actuels de PM_{2,5} étaient ramenés à 5 µg/m³ (recommandation OMS)

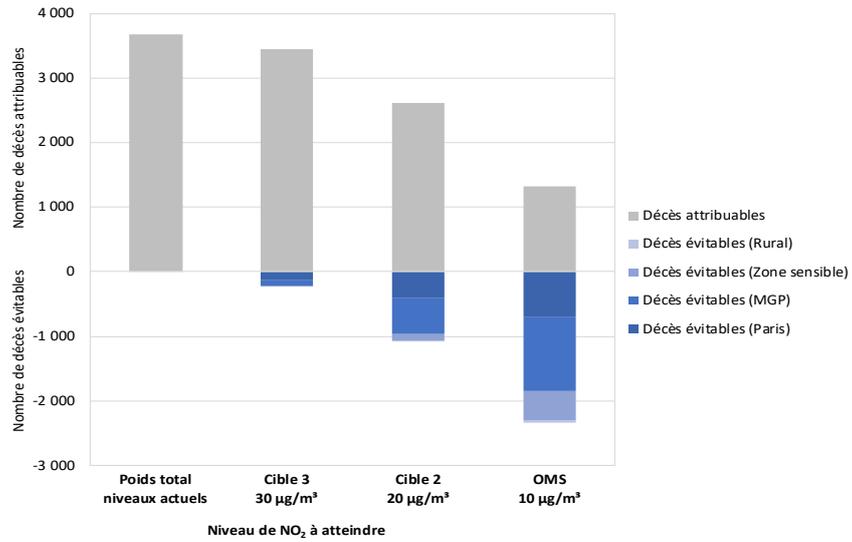


Les gains en espérance de vie n'ont pas été estimés à un niveau plus fin compte-tenu de la variabilité statistique des données de mortalité pour les communes faiblement peuplées.

> Impacts sanitaires de l'exposition prolongée au NO₂

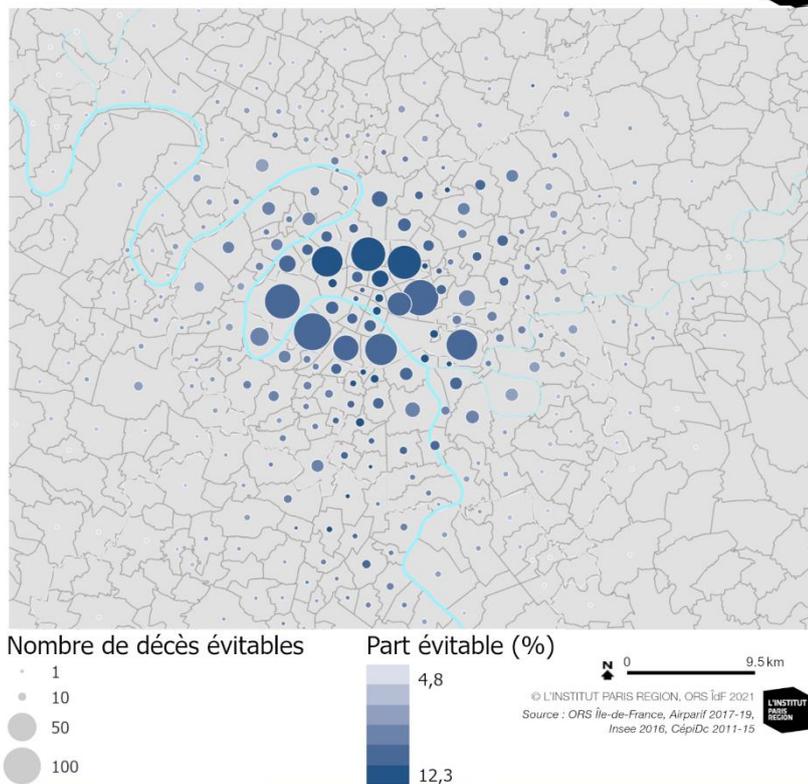
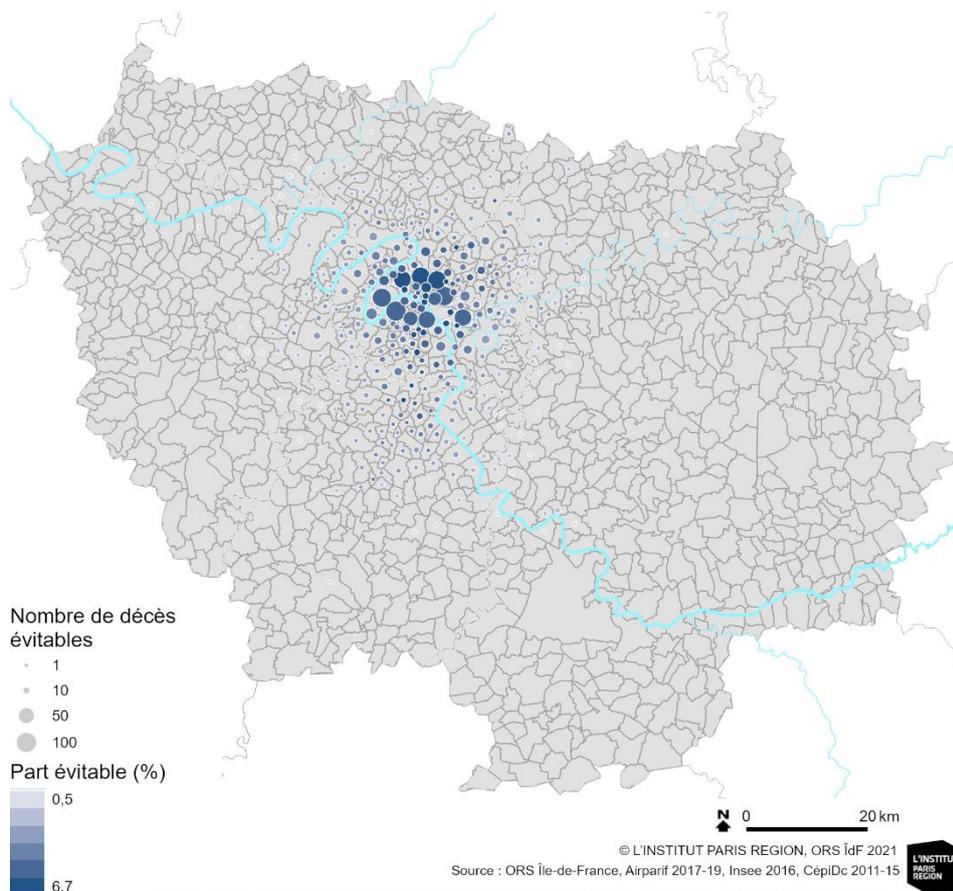
Pour ce polluant, l'impact serait particulièrement prégnant pour la zone dense, avec près de 80 % des bénéfices attendus à Paris et dans la métropole si les niveaux moyens annuels de NO₂ observés actuellement étaient ramenés aux niveaux recommandés par l'OMS (10 µg/m³). Comme précédemment, ceci s'explique par les niveaux de NO₂ particulièrement élevés dans ces territoires couplés à une forte densité de population. Ce polluant, traceur du trafic routier, rappelle ainsi l'importance d'agir sur cette source dans la zone agglomérée. Pour la cible 3, aucun bénéfice n'est attendu en dehors de la métropole car les niveaux de NO₂ observés actuellement sont déjà en deçà des 30 µg/m³ dans ces territoires.

Figure 23 : Nombre de décès évitables selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de NO₂ et mise en perspective avec le poids total



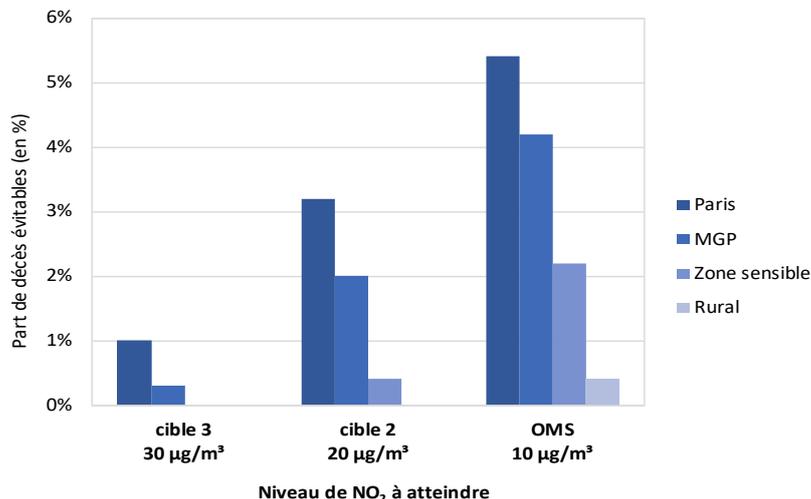
La carte ci-après illustre la répartition au niveau communal de l'impact de l'exposition prolongée aux NO₂ (référence à 10 µg/m³) et comme pour les PM_{2,5}, fait ressortir le cœur dense de l'agglomération parisienne et en particulier les arrondissements périphériques parisiens (Figure 24).

Figure 24 : Nombre (et part) de décès évitables à la commune si les niveaux actuels de NO₂ étaient ramenés à 10 µg/m³ (recommandation OMS)



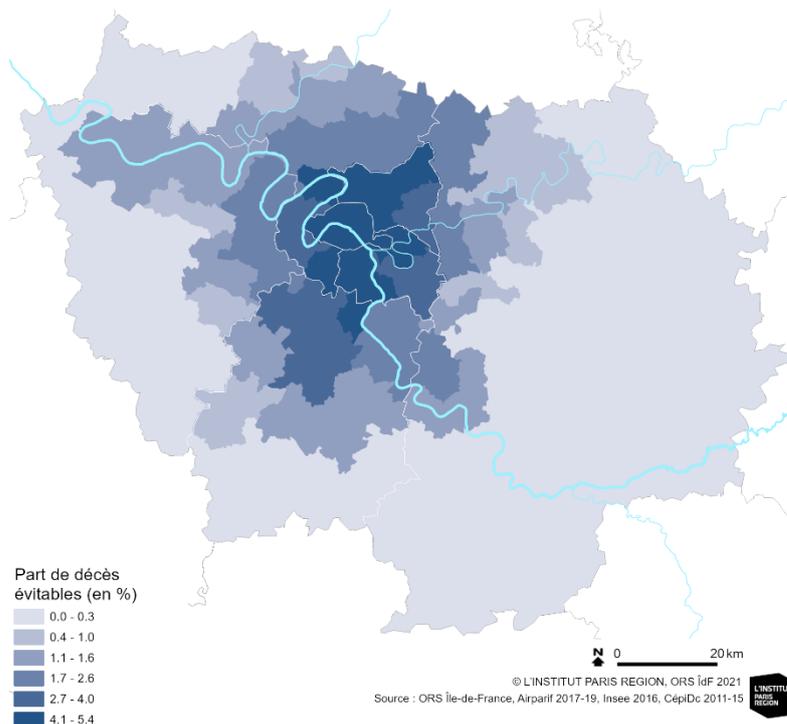
Cette part de décès représenterait près de 5,5 % à Paris et un peu plus de 4 % dans la métropole (Figure 25). Ce pourcentage est directement lié à l'exposition, plus les niveaux d'exposition sont élevés, plus il est élevé (la densité de population ne modifie pas cette valeur). Ainsi, ces parts de décès évitables apparaissent beaucoup plus faibles en dehors de la Métropole et proche de zéro en zone rurale pour la cible 2 à 20 µg/m³ et à la valeur de 10 µg/m³ recommandée par l'OMS.

Figure 25 : Part de décès évitables chez les plus de 30 ans selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de NO₂ pour chaque périmètre



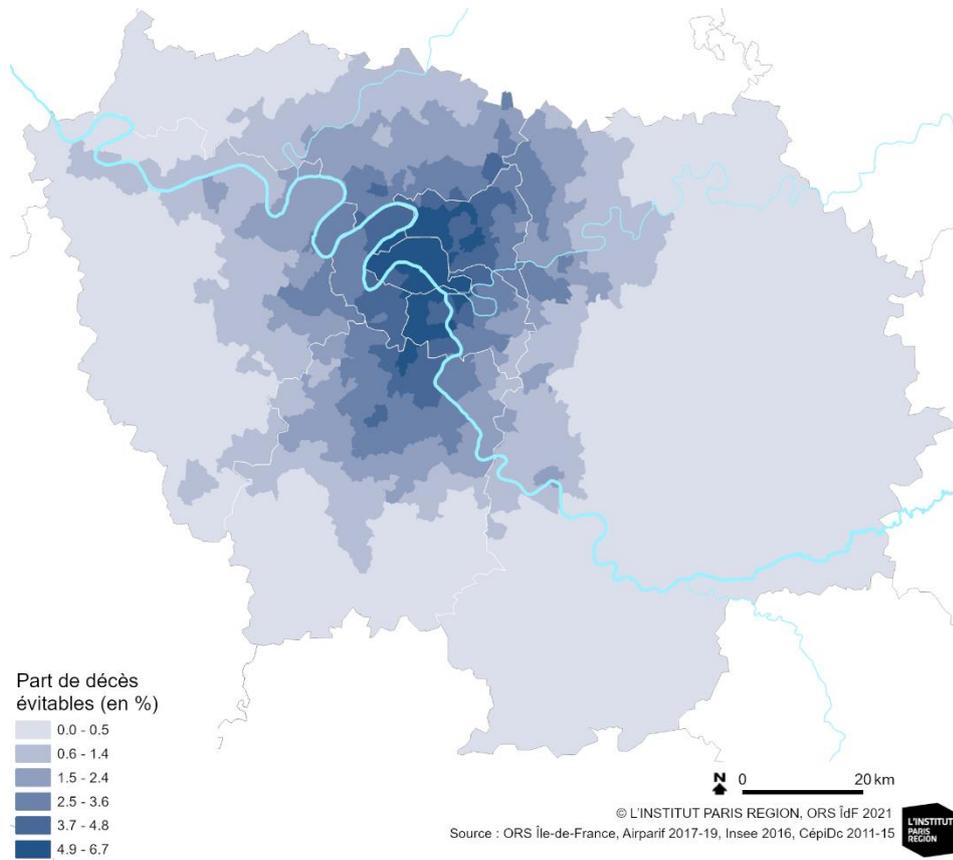
Comme précédemment, les cartes ci-après permettent de visualiser sous forme cartographique la part de décès évitables, en prenant pour référence la valeur recommandée par l'OMS pour le NO₂ (10 µg/m³), selon une géographie plus fine, illustrant ainsi les écarts entre les territoires. La première carte fournit une représentation à l'intercommunalité (Figure 26). Les données chiffrées à l'échelle de l'intercommunalité correspondant à cette carte sont fournies en annexe (Annexe 4).

Figure 26 : Part de décès évitables à l'intercommunalité chez les plus de 30 ans si les niveaux actuels de NO₂ étaient ramenés à 10 µg/m³ (recommandation OMS)



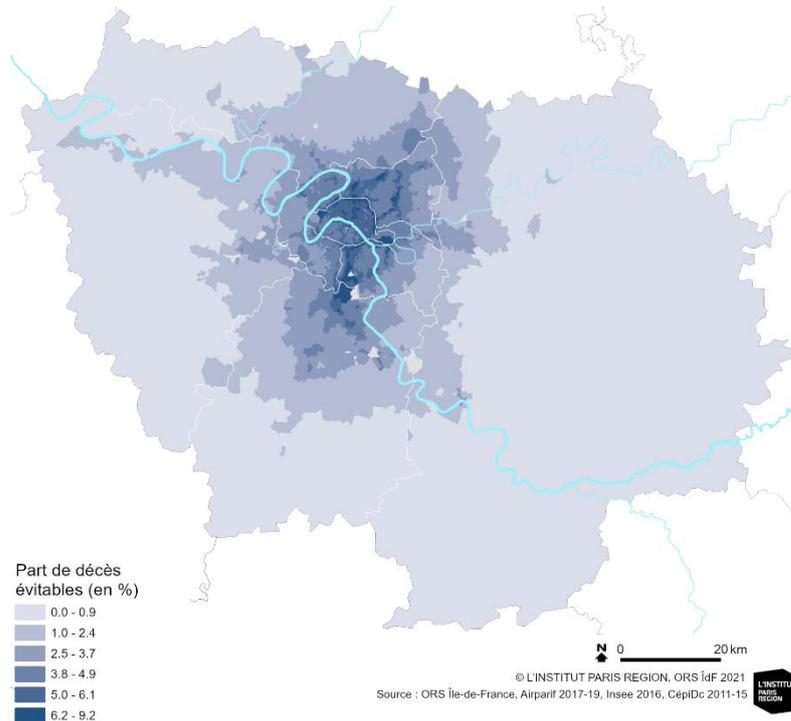
Les cartes suivantes proposent une déclinaison territoriale plus fine, à la commune et à l'Iris (Figure 27 et Figure 28).

Figure 27 : Part de décès évitables à la commune chez les plus de 30 ans si les niveaux actuels de NO₂ étaient ramenés à 10 µg/m³ (recommandation OMS)



De manière plus accentuée que pour les PM_{2,5}, les valeurs les plus élevées de part de décès évitables suivent le motif des grands axes routiers, d'autant plus flagrant sur la représentation cartographique à l'Iris (Figure 28). Cela permet de rappeler que les enjeux sanitaires de la pollution de l'air sont particulièrement prégnants à proximité des axes routiers à fort trafic où les niveaux sont particulièrement élevés et les densités de population importante. Les parts de décès s'élèvent ainsi entre 6 et 9 %.

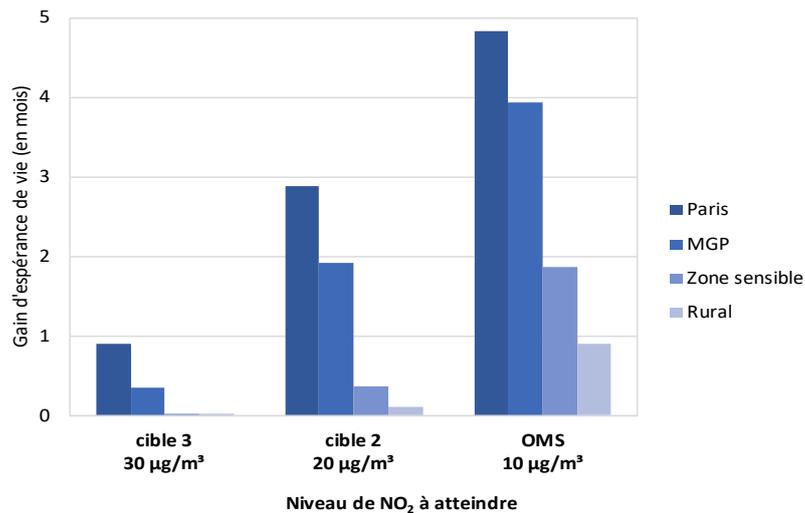
Figure 28 : Part de décès évitables à l'îlot de recensement (Iris) chez les 30 ans et plus si les niveaux actuels de NO₂ étaient ramenés à 10 µg/m³ (recommandation OMS)



Note de lecture : les Iris pour lesquels aucune population des ménages n'était recensée dans notre base bâtiment apparaissent en gris.

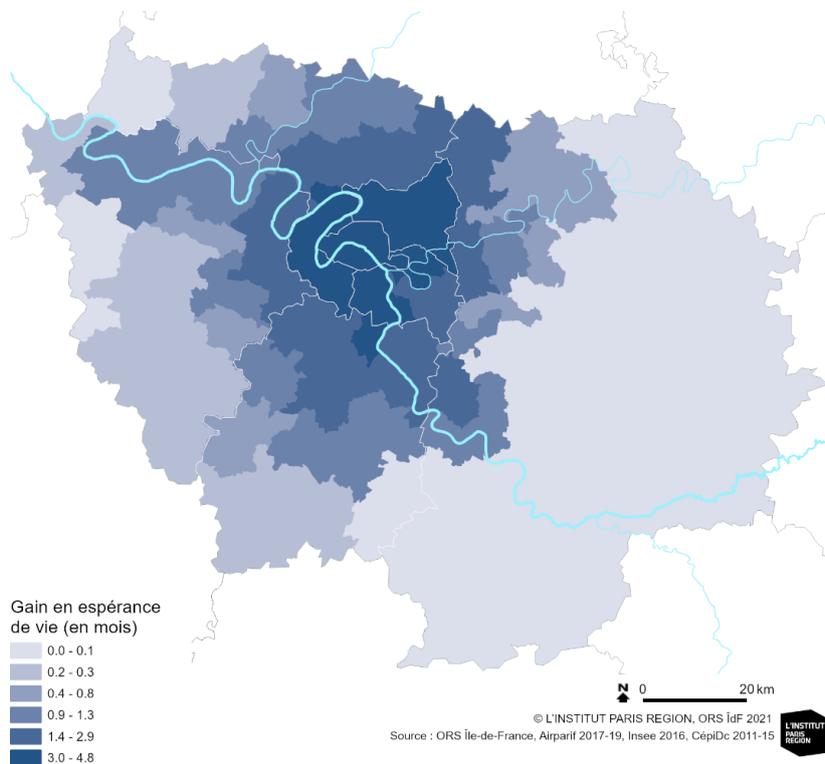
En ce qui concerne les gains en espérance de vie, si les niveaux actuels de NO₂ étaient ramenés à une moyenne annuelle de 10 µg/m³ (recommandation OMS), si pour l'Île-de-France le gain moyen s'élève à 2,7 mois, il est de l'ordre de 5 mois à Paris (Figure 29).

Figure 29 : Gains moyens en espérance de vie (en mois) selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de NO₂



La représentation géographique ci-dessous permet de visualiser ces contrastes territoriaux (Figure 30).

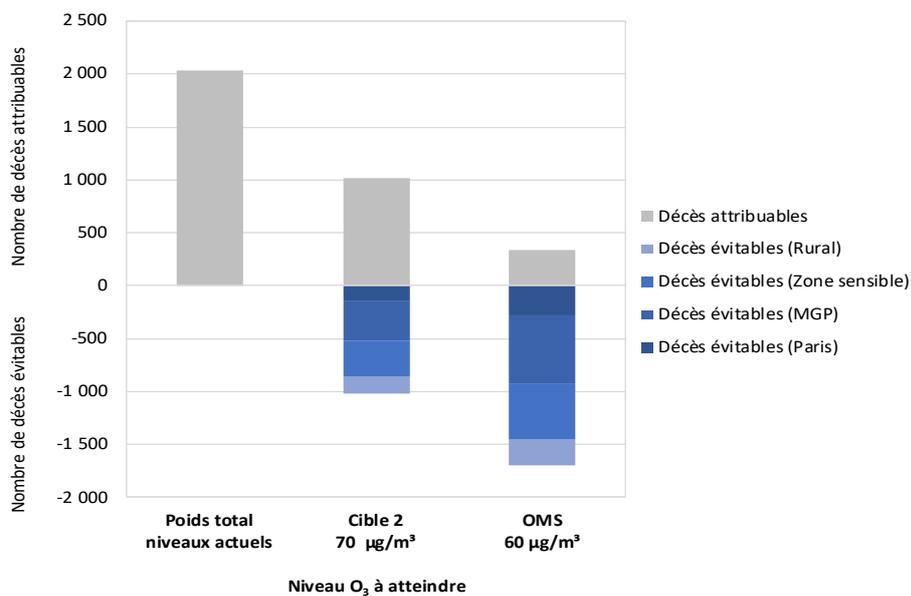
Figure 30 : Gains en espérance de vie à 30 ans au niveau de l'intercommunalité si les niveaux actuels de NO₂ étaient ramenés à une moyenne annuelle de 10 µg/m³ (recommandation OMS)



> **Impacts sanitaires de l'exposition à long terme à l'ozone**

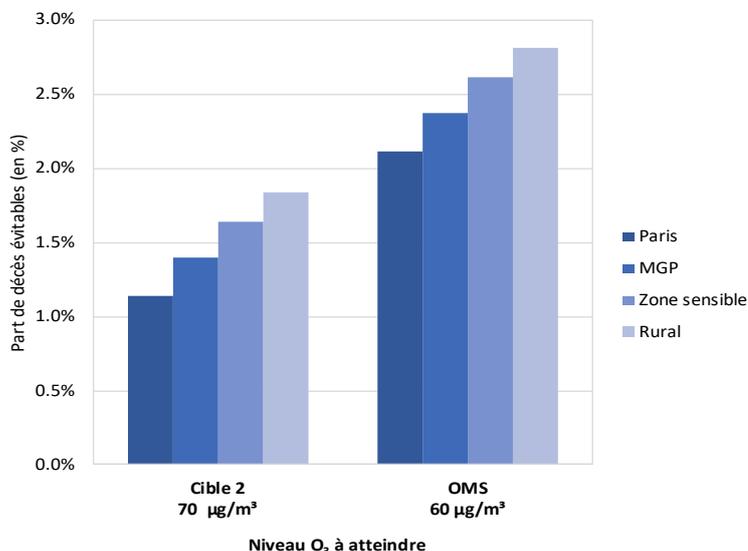
En ce qui concerne l'ozone, la tendance est tout autre, ainsi, en proportion, l'impact est plus marqué en zones périphériques (Figure 31).

Figure 31 : Nombre de décès évitables selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de O₃ pour chaque périmètre et mise en perspective avec le poids total



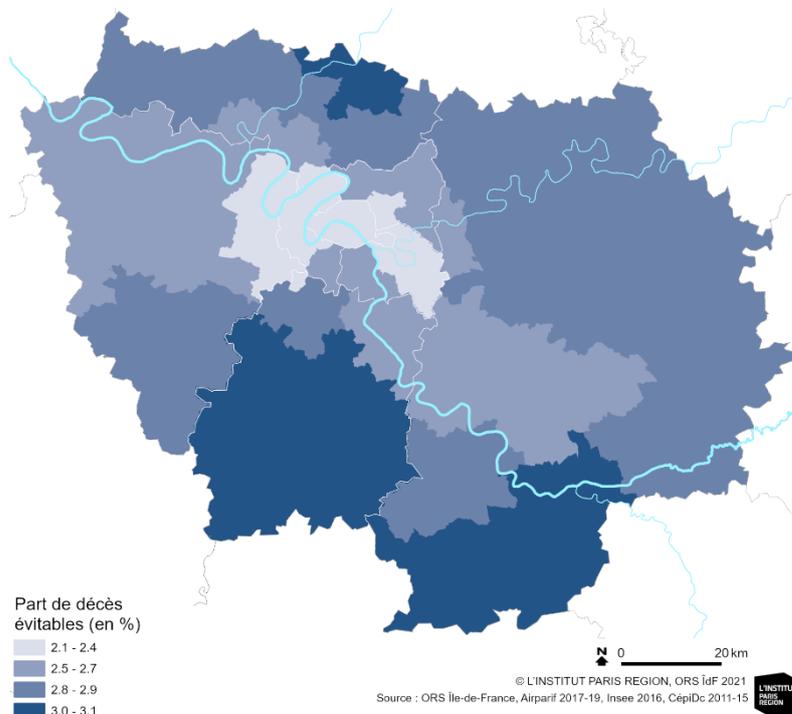
La part de décès évitables s'élève 2,8 % en zone rurale (zone périphérique) contre 2,1 % à Paris pour un objectif de 60 µg/m³ (recommandation OMS) (Figure 32).

Figure 32 : Part de décès évitables selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de O₃ pour chaque périmètre



Ceci est particulièrement bien illustré par la représentation géographique de cet impact (Figure 33). Les données chiffrées à l'échelle des intercommunalités correspondant à cette carte sont fournies en annexe (Annexe 4).

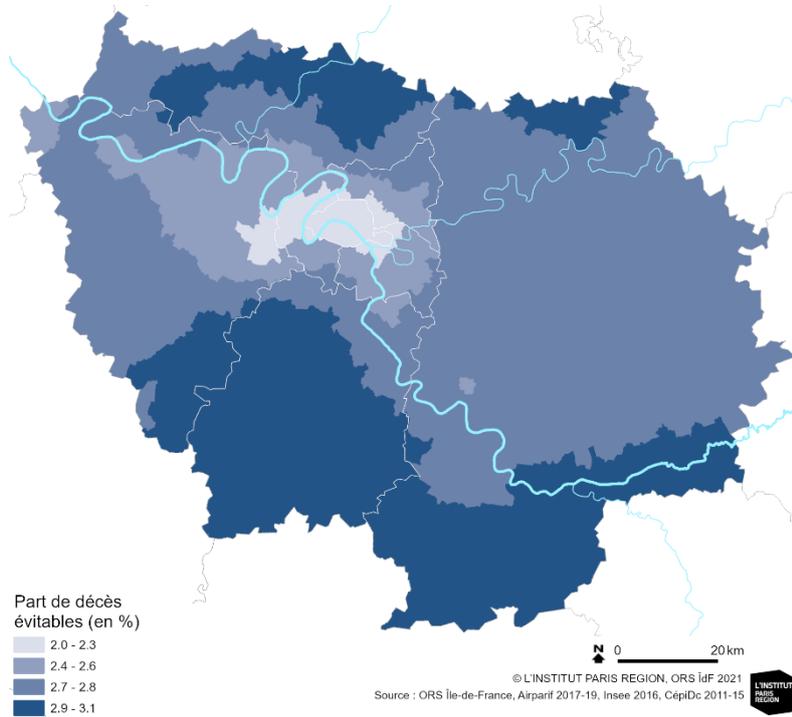
Figure 33 : Part de décès évitables au niveau des intercommunalités si les niveaux actuels d'O₃ étaient ramenés à 60 µg/m³ (recommandation OMS)



Une représentation au niveau communal (Figure 34) raffine quelque peu cette géographie qui évolue peu lorsque l'on représente cet impact à l'Iris (non présenté ici). Cette géographie illustre l'enjeu sanitaire de l'exposition à l'ozone plus prononcé en zones rurales. A noter toutefois que les écarts entre zone dense et la périphérie sont moins

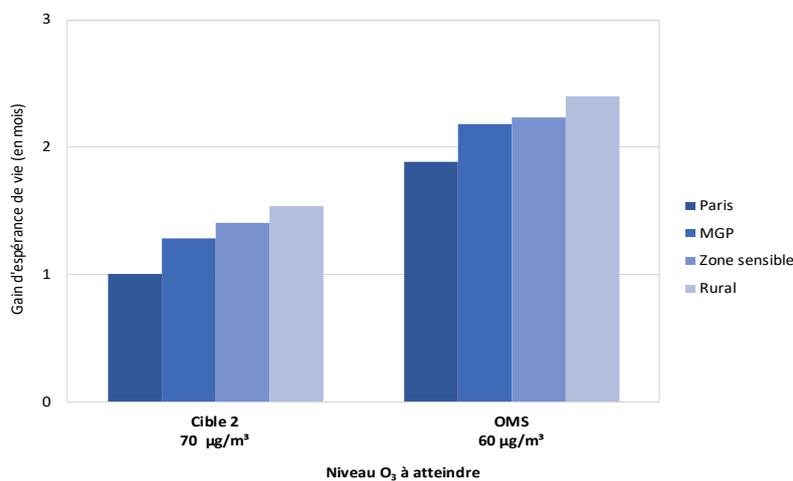
marqués que pour les deux autres polluants dont les niveaux sont plus influencés par les sources locales.

Figure 34 : Part de décès évitables au niveau communal si les niveaux actuels d'O₃ étaient ramenés à 60 µg/m³ (recommandation OMS)



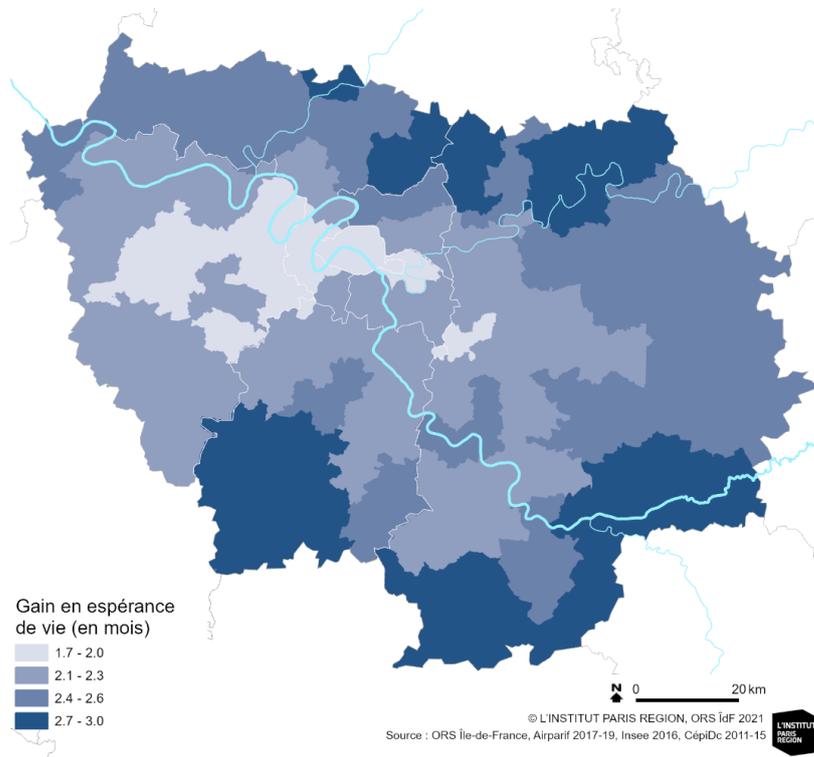
De même, le gain en espérance de vie serait plus élevé dans la zone rurale (zone périphérique) (Figure 35).

Figure 35 : Gains moyens en espérance de vie (en mois) selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels d'O₃



La représentation offre une image plus nuancée et moins calquées sur le profil des niveaux d'ozone. Comme précédemment, ceci est expliqué par les contrastes des indicateurs de mortalité (voir Figure 3 § 3.1.1 p. 29).

Figure 36 : Gains en espérance de vie à 30 ans au niveau des intercommunalités si les niveaux actuels d'O₃ étaient ramenés à une moyenne annuelle de 60 µg/m³ (recommandation OMS)



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

Une rapide analyse de la distribution de l'impact en fonction du niveau de défaveur sociale ne montre pas d'écarts significatifs entre les différentes classes quel que soit le territoire considéré (Figure 37).

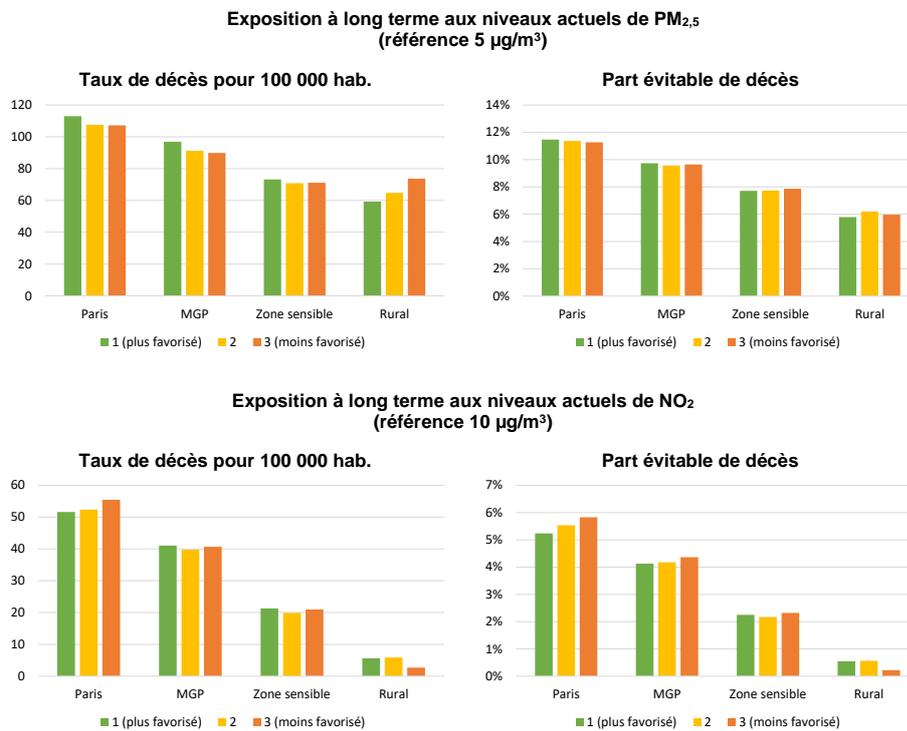
Concernant les PM_{2,5}, en dehors de la zone rurale, la classe la plus favorisée apparaît légèrement plus impactée en taux de décès par habitant. La situation est inverse pour la zone rurale. Ici les nombres de décès évitables sont rapportés à la population totale dans chaque catégorie afin d'être comparables, il s'agit d'un nombre de décès évitables pour 100 000 habitants.

Concernant les PM_{2,5}, en dehors de la zone rurale, la classe la plus favorisée apparaît légèrement plus impactée en taux de décès par habitant. La situation est inverse pour la zone rurale.

Concernant le NO₂, l'impact en taux par habitant et en part évitable au sein de la zone sensible est plus prononcé pour la classe la moins favorisée laissant penser que ces populations sont sur-représentées dans les secteurs à proximité du trafic routier. La tendance est inverse pour la zone rurale. Cela peut s'expliquer par la distribution socio-démographique avec une surreprésentation de la classe la plus favorisée au sein des villes les plus importantes de la couronne rurale.

Cette évaluation se base sur un risque relatif unique alors que les populations les moins favorisées sont en moyenne en moins bonne santé et sont donc susceptibles d'être plus sensibles à l'exposition à la pollution de l'air. Ainsi l'impact dans cette catégorie de population est potentiellement sous-évalué.

Figure 37 : Distribution de l'impact en matière de décès évitables rapportés à la population et de la part évitable au sein de trois classes de défaveur sociale si les niveaux actuels de NO₂ et PM_{2,5} étaient ramenés aux valeurs recommandées par l'OMS



3.2.3 Impacts des baisses des concentrations de polluants de l'air ambiant occasionnées par les restrictions d'activité en lien avec la Covid-19 en 2020 sur la mortalité

Les baisses des concentrations en NO₂ et PM_{2,5} occasionnées par les restrictions d'activité en lien avec la Covid-19 en 2020 auraient engendré respectivement une baisse de l'ordre de 310 décès et 180. Pour ce qui concerne le NO₂, la grande majorité des gains se situent à Paris et dans le reste de la métropole (Tableau 16).

Tableau 16 : Nombre et part de décès évités pour les baisses de concentration en PM_{2,5} et NO₂ pour chaque périmètre

Polluants		Paris	MGP	zone sensible	Rural ¹	Total
PM _{2,5}	Nombre annuel de décès évités	50 [16 ; 74]	80 [28 ; 129]	50 [17 ; 79]	-	180 [60 ; 280]
	Part de décès évités (en %)	0,4 [0,1 ; 0,6]	0,3 [0,1 ; 0,5]	0,2 [0,1 ; 0,4]	-	0,3 [0,1 ; 0,5]
NO ₂	Nombre annuel de décès évités	130 [46 ; 207]	150 [54 ; 245]	50 [17 ; 79]	10 [3 ; 15]	310 [120 ; 550]
	Part de décès évités (en %)	1 [0,3 ; 1,6]	0,6 [0,2 ; 0,9]	0,2 [0,1 ; 0,4]	0,1 [0 ; 0,2]	0,3 [0,1 ; 0,5]

¹ Impact non significatif des mesures de restriction sur les niveaux de PM_{2,5} en zone rurale, ainsi pour le calcul ce territoire n'a pas été pris en compte

Pour rappel, ces estimations respectives des cas évités grâce aux diminutions de chaque polluant ne sont pas sommables intégralement, car une partie des décès peut être attribuée à ces deux polluants simultanément.

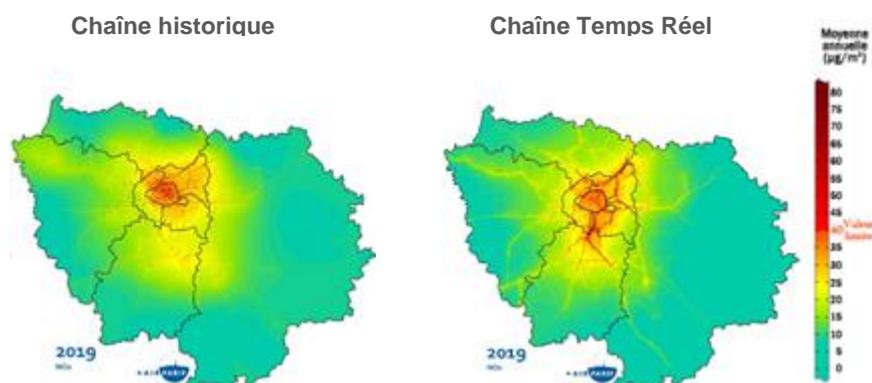
4 | ANALYSE DES INCERTITUDES

4.1 Incertitudes liées à la modélisation des niveaux de pollution de l'air

4.1.1 Comparabilité des niveaux dans le cadre de l'analyse rétrospective

Airparif produit des cartes de concentrations moyennes annuelles en dioxyde d'azote (NO₂) et en particules PM_{2,5} depuis 2002. La chaîne de calcul utilisée est la même de 2002 à 2018, seules les données d'entrée ont été régulièrement mises à jour. La méthodologie de ces cartes repose sur l'exploitation conjointe des sorties de la plateforme inter-régionale de cartographie et de prévision de la qualité de l'air ESMERALDA et des observations aux stations de mesure d'Airparif, couplées à la modélisation des émissions du trafic routier menée par le système HEAVEN. En 2019, une évolution de la méthodologie a été mise en œuvre afin de réaliser les cartographies à partir de la chaîne de calcul des Cartes Temps Réel, basée sur un couplage du modèle ESMERALDA et du logiciel de dispersion atmosphérique ADMS-Urban (CERC, NumTech). Le principe de réalisation des cartes reste inchangé (modélisation des concentrations de fond, calcul des émissions du trafic routier par le modèle Heaven, estimation des concentrations au droit des axes et dispersion dans la zone d'influence des axes), mais les chaînes de calcul sont différentes. Cette évolution a été réalisée en assurant au maximum la continuité des évaluations et des informations diffusées. Les cartographies produites ont été comparées à celles issues de l'ancienne chaîne de cartographie et validées à partir des niveaux de polluants mesurés par les 70 stations de mesure d'Airparif. Airparif a également mené en 2018 une importante campagne de mesure du dioxyde d'azote (NO₂) en petite et grande couronne francilienne en vue de valider finement la cartographie de ce polluant au droit et au voisinage des grands axes routiers parisiens et régionaux. Ces travaux ont montré une estimation correcte des dépassements des valeurs réglementaires sur la plupart des sites instrumentés, avec néanmoins une sous-estimation des concentrations moyennes en NO₂ au droit des axes, notamment en grande couronne. La production des cartes à partir du système Temps réel a ainsi permis d'améliorer sensiblement la modélisation des niveaux de NO₂ sur les axes de grande couronne, comme l'indique les cartes ci-dessous (Figure 38).

Figure 38 : Comparaison des deux chaînes de modélisation mobilisées pour estimer les niveaux de NO₂

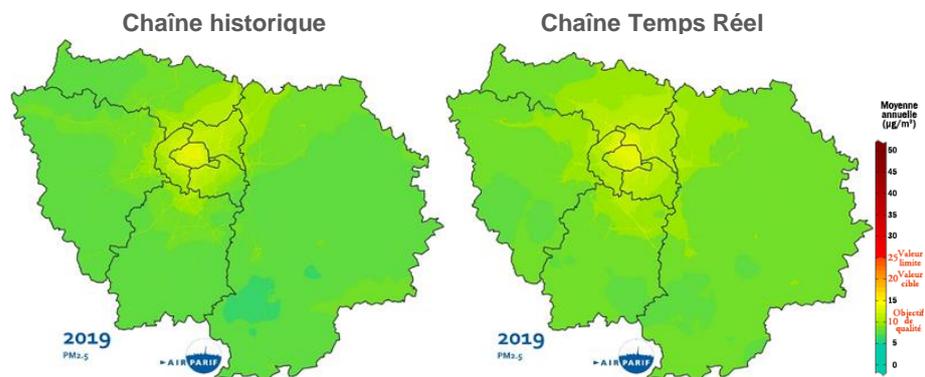


Ces évolutions méthodologiques n'ont aucunement remis en cause les informations délivrées sur l'évaluation des dépassements des valeurs réglementaires, ainsi que les indicateurs de population et de superficie associés. Elles ont néanmoins potentiellement

pu induire une augmentation des kilomètres de voirie cumulés associés aux dépassements des normes réglementaires, en raison d'une meilleure estimation des niveaux au droit des axes routiers majeurs en grande couronne. La plupart de ces axes ont fait l'objet d'aménagements urbains afin de protéger la population en évitant leur passage au voisinage des habitations (contournements de villes, aménagements de merlons paysagers, de murs anti-bruit, ...). Ces axes présentant ainsi peu de population à proximité immédiate, le nombre de personnes exposées aux dépassements est par conséquent peu affecté à l'échelle de la région.

Pour les PM_{2,5}, l'impact de cette évolution méthodologique est faible et les deux systèmes produisent des différences annuelles de l'ordre de 1 µg/m³, soit inférieures aux incertitudes de mesure (Figure 39).

Figure 39 : Comparaison des deux chaînes de modélisation mobilisées pour estimer les niveaux de PM_{2,5}



Pour l’ozone, le paramètre étudié ne faisant pas partie des indicateurs suivis dans le cadre de la surveillance réglementaire, les cartographies sur la période de référence 2008-2009-2010 n’existent pas. Le travail spécifique de modélisation développé pour la période 2017-2018-2019 n’a pas pu être réalisé sur la période de référence correspondant au début de la décennie car les données horaires de modélisation nécessaires ne sont pas stockées sur une période aussi longue. Il aurait été possible d’utiliser des recalculs réalisés dans le cadre d’autres projets, mais la rupture méthodologique aurait été trop importante, ne permettant pas d’assurer une continuité satisfaisante. C’est la raison pour laquelle le scénario rétrospectif n’a pas pu être étudié.

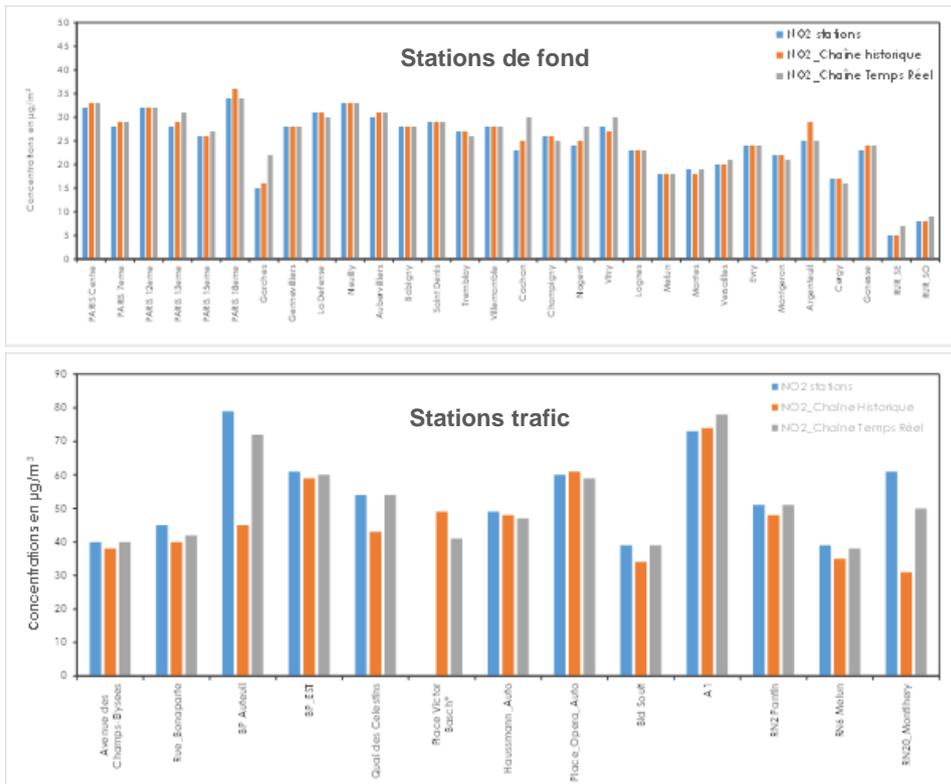
4.1.2 Incertitudes liées aux modèles

Les cartes produites par Airparif font chaque année l’objet de comparaisons mesures-modèles afin de vérifier le respect des incertitudes telles que définies dans les textes réglementaires¹.

La Figure 40 présente, à titre d’exemple les comparaisons entre les concentrations en NO₂ mesurées aux stations de mesure et celles modélisées d’une part par la chaîne utilisée historiquement et d’autre part par la chaîne Temps Réel pour l’année 2029. Cet exercice a également permis de vérifier la continuité entre les deux chaînes de calcul. Pour le dioxyde d’azote, les écarts maxima entre mesures et modèles calculés sur 90% des points de mesure sont de l’ordre de 20%, ce qui est conforme aux objectifs réglementaires européens de qualité des données.

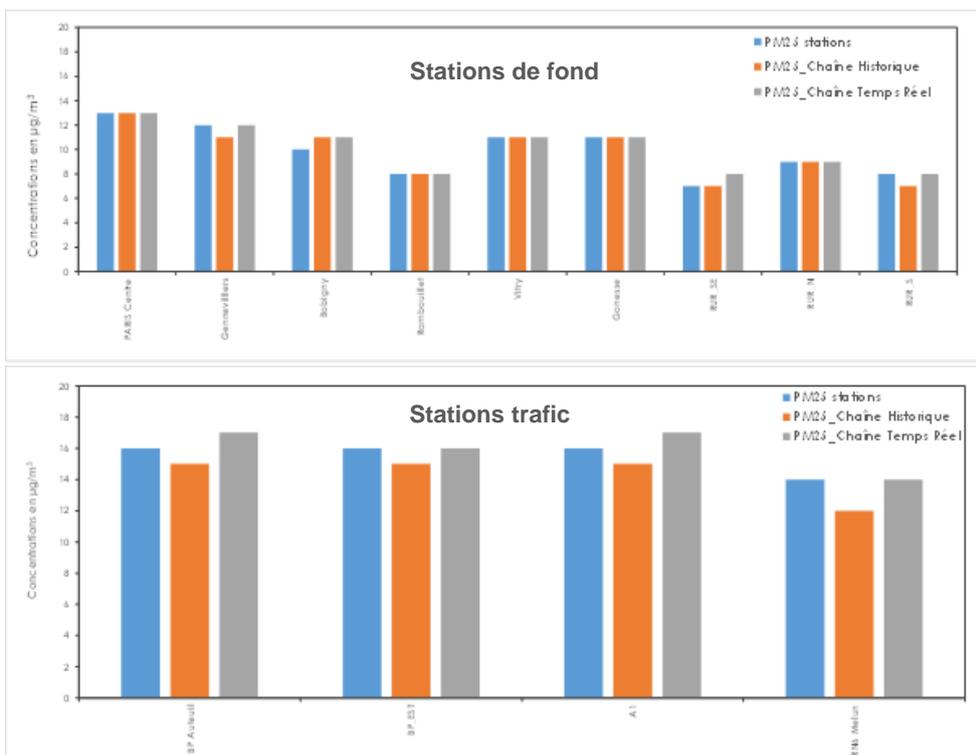
¹ L’incertitude pour la modélisation est définie comme l’écart maximal des niveaux de concentration mesurés et calculés de 90 % des points de surveillance particuliers.

Figure 40: Comparaisons des concentrations en NO₂ mesurées et modélisées sur les stations de fond et stations trafic



Pour les particules PM_{2,5}, les écarts maximaux entre mesures et modèles calculés sur 90 % des points de mesure sont de l'ordre de 15 %, ce qui est conforme aux objectifs réglementaires européens de qualité des données.

Figure 41 : Comparaisons des concentrations en PM_{2,5} mesurées et modélisées sur les stations de fond et les stations trafic



4.1.3 Baisses des concentrations de polluants de l'air occasionnées par les restrictions d'activité

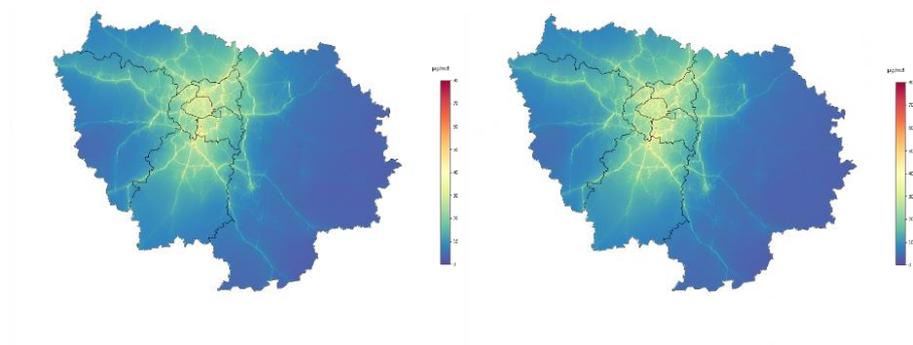
L'évaluation de l'impact des mesures de restriction d'activité liées à la pandémie sur l'année 2020 a été réalisée en comparant la carte des concentrations moyennes annuelles de la situation observée en 2020 avec une simulation de ce qu'aurait été la situation en 2020 s'il n'y avait pas eu ces restrictions d'activité, à conditions météorologiques équivalentes. Cette comparaison nécessite de discerner à l'échelle annuelle la part tendancielle de la part conjoncturelle dans les évolutions observées. Pour ce faire, une estimation des tendances aux stations de mesure a été réalisée à l'aide de la méthode statistique « Weather Normalization ». Cette technique d'apprentissage statistique vise à découpler les influences de variables explicatives connues (météo, variables temporelles comme le mois, le jour de la semaine et l'heure) des autres influences possibles, dont celles liées aux mesures de restriction d'activité. La méthodologie est détaillée en annexe du rapport d'évaluation d'Airparif [16]. Ce modèle a été appliqué sur l'historique des mesures aux stations du réseau Airparif depuis 2012, afin de dégager l'évolution tendancielle à moyen terme des niveaux de qualité de l'air, débarrassée de l'influence des paramètres météorologiques. La différence entre la situation réelle et l'évolution tendancielle permet d'estimer l'impact des restrictions d'activité liées à la crise sanitaire aux différentes stations de mesure. Cet écart est ensuite appliqué à la carte annuelle réalisée dans le cadre du bilan annuel 2020, calculée à l'aide du système « Temps réel » et résultant de la compilation des cartes horaires issues de ce système.

L'évaluation ainsi obtenue a été comparée à une seconde simulation réalisée à l'aide des cartes temps réel, en modélisant deux cas :

- les cartes produites en opérationnel, alimentées par les stations de mesure et les boucles de comptage en temps réel, qui reflètent la situation réelle
- des cartes recalculées avec les émissions théoriques qui auraient été émises si les mesures de restriction d'activités n'avaient pas eu lieu. Pour les deux scénarios, les conditions météorologiques sont identiques.

L'écart entre les deux cartes permet d'estimer l'impact des mesures de restriction liées au Covid-19 (Figure 42). Les deux cartographies montrent des écarts qui sont dans le même ordre de grandeur avec un motif très similaire. La baisse des niveaux est marquée sur l'agglomération et plus particulièrement dans le cœur dense de cette dernière. Les deux méthodes ne mettent pas en évidence de baisse significative en zone rurale. L'impact estimé aux stations montre une vraie cohérence entre les deux méthodes.

Figure 42 : Moyenne annuelle des concentrations en NO₂ sans la pandémie, résultats de deux simulations



4.2 Incertitudes liées aux indicateurs de santé et à l'estimation de la population exposée

4.2.1 Incertitudes liées aux indicateurs sanitaires

Dans cette étude, les données de mortalité produites par le service CépiDC de l'Inserm ont été utilisées afin d'estimer l'impact sur la mortalité.

Pour l'analyse des impacts sur la période actuelle, les données de mortalité utilisées sont les plus récentes disponibles mais ne concernent pas les périodes d'intérêt de cette étude. Un délai de traitement des données reste incontournable pour garantir l'exhaustivité du recueil et la qualité des données par le service du CépiDC assurant le codage et mettant en place les procédures de validation nécessaires.

Cet indicateur a été construit pour une période rétrospective de cinq ans, ainsi sur la période 2011-2015, afin de lisser les fluctuations statistiques. Pour cette même raison, pour l'analyse rétrospective, l'indicateur a été construit sur la période 2004-2008.

Le décalage temporel entre les données de mortalité et les données de pollution n'a qu'une influence mineure sur le résultat des évaluations au vu de l'ensemble des incertitudes. Toutefois, l'évolution dans le temps du taux brut de mortalité observe une tendance à l'augmentation notamment du fait du vieillissement de la population entraînant une possible sous-estimation de l'impact.

4.2.2 Estimation des expositions

Données de population

Pour l'analyse des impacts sur la période actuelle, les données de population mobilisées sont basées sur un travail de transposition des données du recensement de l'Insee à l'Iris datant de 2016 au bâtiment sur la base de la connaissance du mode d'occupation des sols. Si ces deux sources de données sont soumises à des incertitudes, il n'y a pas de raison de penser que cela 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). Les données de population datent de 2016, même si ponctuellement des évolutions de population ont pu intervenir, cela ne devrait que peu influencer le résultat final.

Entre 2010 et 2019, la population francilienne des 30 ans et plus a augmenté en moyenne de 6,3 %, variant entre -0,9 % à Paris et +13,6 % en zone rurale (zone périphérique). Afin de tenir compte de ces évolutions, pour l'analyse rétrospective de l'impact de la pollution de l'air, les données de population mobilisées correspondent à l'année 2009. Elles sont issues d'un travail assez similaire de transposition des données du recensement au bâtiment que pour l'année 2006. Toutefois, entre les deux exercices, la méthode de transposition a été affinée, ainsi ces deux sources de données ne sont pas totalement comparables. Si cela peut présenter une limite pour apprécier les évolutions de population à une échelle fine, pour les estimations d'impact présentées à un niveau agrégé, cela a moins d'influence.

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 de raison de penser qu'en moyenne l'erreur soit différentielle et entraîne une surestimation de l'impact. De plus, dans l'étude

épidémiologique dont est issue le risque relatif utilisé pour le calcul, l'exposition est estimée au lieu de résidence. Il y a donc de ce point de vue une bonne correspondance.

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. Dans le cadre de précédents travaux, une analyse de sensibilité a permis de montrer des estimations très proches issues de ces deux approches [7].

4.3 Choix des risques relatifs et du seuil de référence

Le choix des risques relatifs influence particulièrement les résultats. Les connaissances progressent en continu, c'est pourquoi, les préconisations ou les choix établis dans des travaux similaires peuvent différer.

En vue de pouvoir comparer ces résultats avec l'évaluation la plus récente réalisée au niveau national, les mêmes risques relatifs que l'étude de Santé publique France ont été retenus pour les PM_{2,5} et le NO₂.

Afin de comprendre l'influence de ce choix, des analyses de sensibilité ont été réalisées pour ces deux couples polluant-mortalité, avec :

- Pour les PM_{2,5}, l'application du RR de 1,08 [1,06; 1,09] de Chen et Hoek [20], calculé dans le cadre d'une méta-analyse plus récente de 2020, conduite pour la mise à jour des recommandations de l'OMS en matière de qualité de l'air
- Pour le NO₂, l'application d'un RR de 1,03 [1,02 ; 1,03] issu d'une méta-analyse récente de Huangfu et al. [15].

Par ailleurs, des seuils de référence dit « pollution anthropique minimale » ont été proposés pour le NO₂ et l'O₃. Pour les PM_{2,5}, ce seuil, en deçà de 5 µg/m³, apparaît moins évidents à déterminer, ainsi il est également proposé une simulation en prenant un seuil de 2,5 µg/m³ pour ce polluant.

Les choix des risques relatifs et des seuils de référence influencent particulièrement les résultats.

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

**Tableau 17 : Influence du risque relatif et du choix du seuil de référence
« pollution anthropique minimale » sur les estimations des décès évitables**

Polluant	Risques relatifs	Source	Seuil de référence pollution anthropique minimale	Nombre de décès évitables	Part de décès évitables (%)
PM _{2,5}	1,15 [1,05 ; 1,25]	[5]	5 µg/m ³	6 220 [2 240 ; 9 650]	9 [13,9 ; 3,2]
			2,5 µg/m ³	8 390 [3 050 ; 12 880]	12,1 [18,6 ; 4,4]
	1,08 [1,06 ; 1,09]	[20]	5 µg/m ³	3 500 [2 670 ; 3 910]	5,1 [5,6 ; 3,9]
			2,5 µg/m ³	4 760 [3 630 ; 5 300]	6,9 [7,7 ; 5,2]
NO ₂	1,023 [1,008 ; 1,037]	[14]	1 µg/m ³	3 680 [1 310 ; 5 770]	5,3 [8,3 ; 1,9]
	1,03 [1,02 ; 1,03]	[15]	1 µg/m ³	4 730 [3 210 ; 4 730]	6,8 [6,8 ; 4,6]

Cette analyse illustre la sensibilité des résultats au choix de ces deux paramètres, et c'est particulièrement vrai pour les PM_{2,5} dont les estimations d'impact varient pour un même risque relatif entre par exemple 3 000 et 12 000 si l'on considère les bornes inférieures et supérieures de l'intervalle de confiance. Et d'une estimation à l'autre, si on considère la valeur centrale, entre 2 500 et 8 390 cas. Ainsi, tous les exercices d'évaluation quantitative d'impact de la pollution atmosphérique, pour un même territoire, ne peuvent pas toujours être directement comparés.

Par ailleurs, en ce qui concerne le choix du RR relatif aux effets de l'ozone, ce dernier est basé sur le résultat d'une méta-analyse récente réalisée dans le cadre de la mise à jour des connaissances en vue de la révision des recommandations OMS [15]. Comparés aux deux autres polluants, les travaux sur les effets à long terme de l'exposition prolongée à l'ozone sur la mortalité (d'avril à septembre) sont relativement peu nombreux. Ainsi le risque relatif utilisé apparaît moins robuste, toutefois, il est jugé suffisamment robuste pour réaliser des évaluations quantitatives d'impact sur la santé

5 | MISE EN PERSPECTIVES

LES POINTS ESSENTIELS

- > Les résultats de notre étude en ce qui concerne le poids actuel de la pollution de l'air en Île-de-France apparaissent du même ordre de grandeur que ceux de l'étude nationale ;
- > Seule une baisse drastique des émissions liées aux transports couplée à une baisse conséquente de celles liées au secteur du bâti permettrait d'atteindre les valeurs recommandées par l'OMS pour le NO₂ e les PM_{2,5} ;
- > La formation de l'ozone est régie par des phénomènes particulièrement complexes, seule une action à large échelle géographique sur les précurseurs, du régional au national, permettra de lutter efficacement contre cette pollution photochimique ;

5.1 Comparabilité avec l'étude nationale publiée en 2021 par Santé publique France [6]

Comme illustré au paragraphe précédent les choix et hypothèses retenues peuvent influencer fortement les résultats. C'est pourquoi, d'une étude à l'autre les estimations d'impact peuvent fluctuer. Outre le choix des risques relatifs et celui du seuil de référence, d'autres paramètres comme les modèles d'exposition et les échelles géographiques utilisés mais aussi les données de mortalité utilisées (causes retenues ou toutes causes, âges) peuvent engendrer des différences.

Ainsi, il convient d'examiner ces éléments méthodologiques dans une analyse de sensibilité afin d'interpréter les éventuelles différences. À des fins de comparabilité, les mêmes risques relatifs et les mêmes seuils de références (5 µg/m³ pour les PM_{2,5} et 10 µg/m³ pour le NO₂) que l'étude nationale réalisée par Santé publique France [6] ont été retenus, toutefois, les modèles de pollution et les méthodes d'estimation de l'exposition divergent, de même que les périodes d'étude tel que résumé dans le tableau suivant.

Tableau 18 : Comparaison des résultats et méthodologies respectives dans les approches nationale (extraction des résultats pour l'Île-de-France) et régionale

	Etude Régionale (ORS Île-de-France/Airparif)		Extraction des résultats Île-de-France à partir de l'étude nationale (Santé publique France/Ineris) [6]	
	PM _{2,5}	NO ₂	PM _{2,5}	NO ₂
Echelle de modélisation de la pollution	Maille 50 m x 50 m		Maille 4 km x 4 km	
Estimation de l'exposition	Au bâtiment		À la commune (concentrations pondérées par la population)	
Période d'étude	2017 à 2019	2019	2016 à 2019	
Impact en matière de décès	6 220 [2 240 ; 9 650]	2 350 [830 ; 3 700]	6 265 [2 255 ; 9 730]	2 505 [890 ; 3 954]
Part de décès attribuable	9,0 %	3,4 %	8,7 %	3,5 %

Les résultats de notre étude apparaissent du même ordre de grandeur que ceux de l'étude nationale.

Ainsi, malgré les différences d'échelle de modélisation, d'estimation de l'exposition et de période d'étude, les résultats apparaissent du même ordre de grandeur. A noter que le décalage de la période d'étude pour le NO₂ est susceptible d'avoir une forte influence sur les résultats car les niveaux de NO₂ ont baissé significativement entre 2016 et 2019. Ainsi, nous nous serions attendus à un impact moindre du NO₂ dans notre étude. Cela est probablement compensé du fait de l'estimation plus fine des niveaux d'exposition dans notre étude qui permet une meilleure prise en compte des contrastes d'exposition. En particulier, ces approches plus fines permettent de mieux caractériser les niveaux très élevés rencontrés à proximité des axes à fort trafic routier et ainsi une meilleure estimation des expositions. Ceci est susceptible d'avoir une grande importance en Île-de-France car un grand nombre d'habitants résident à proximité de ces axes.

5.2 Quelles mesures pour atteindre les recommandations de l'OMS ?

Ce travail a permis d'évaluer les bénéfices attendus si les valeurs recommandées par l'OMS étaient atteintes. Afin de rendre plus opérationnel ces scénarios, ce chapitre vise à mettre en perspective ces résultats avec une analyse prospective menée par Airparif en matière de scénarios de réduction d'émissions liée aux principales sources de PM_{2,5} et de NO₂.

Avant cela, l'impact des mesures de restrictions mise en œuvre au cours de l'année 2020 dans le cadre de la lutte contre la pandémie de Covid-19 est mis en perspective par rapport aux différents objectifs étudiés.

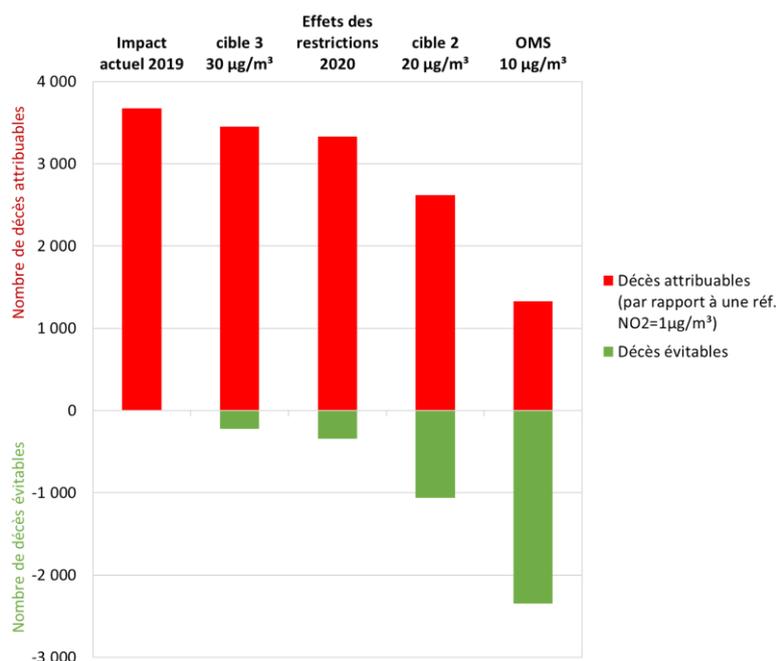
5.2.1 Mesures de restriction exceptionnelles : un chemin à suivre ?

Avant tout, il faut préciser que les résultats de cette évaluation doivent être interprétés avec précaution eu égard aux facteurs exceptionnels liés au confinement qui se traduit par une modification des conditions d'exposition de la population à la pollution extérieure, avec une réduction de la mobilité, plus de temps passé dans les environnements intérieurs, des changements d'habitudes de vie et de comportements, dans certains cas du bruit, et des reports de recours aux soins entraînant éventuellement une augmentation de la mortalité et de la morbidité. Ces aspects ont été détaillés et discutés dans le rapport de Santé publique France [6]. Ces considérations générales sont également applicables

à l'Île-de-France. Par ailleurs, les liens entre Covid-19 et pollution de l'air ont été précisés dans un Focus santé de l'ORS Île-de-France auquel on peut également se référer [21].

Ainsi, il s'agit d'une évaluation théorique toutes choses égales par ailleurs. Toutefois, il apparaît intéressant de situer l'effet de ces mesures de restriction particulièrement tangibles pour les franciliens par rapport aux objectifs d'atteinte des recommandations de l'OMS. Cette mise en perspective est proposée pour le NO₂ dont la baisse des niveaux au cours de l'année 2020 a été particulièrement forte. À cet effet, sont représentés sur le même graphique (Figure 43) les bénéfices respectifs d'atteinte des différentes cibles ainsi que l'effet des mesures de restriction par comparaison à la situation actuelle dont l'impact du NO₂ (par rapport à une situation sans pollution anthropique).

Figure 43 : Mise en perspective de l'effet des mesures de restriction de l'année 2020 avec les bénéfices attendus de l'atteinte des objectifs OMS pour le NO₂



Ainsi, les bénéfices des mesures de restrictions impactant fortement le trafic routier en 2020 se situent au-delà des bénéfices attendus du respect de la cible intermédiaire à 30 µg/m³ mais bien en deçà de ceux du respect de la cible à 20 µg/m³. Cela permet de visualiser les efforts nécessaires pour d'atteindre une qualité de l'air satisfaisante du point de vue de la protection de la santé. Il faut pour autant garder à l'esprit que les contraintes drastiques appliquées au moment du premier confinement avec des résultats spectaculaires en matière de réduction du trafic routier, n'ont été appliquées que sur une courte période. La concentration moyenne annuelle considérée pour le calcul reflète des conditions plus mesurées observées le reste de l'année.

5.2.2 Tendre vers les niveaux de PM_{2,5} et NO₂ recommandés par l'OMS : gains d'émission nécessaires dans le domaine des transports et du bâtiment

Le transport routier représente en Île-de-France plus de la moitié des émissions de NO_x¹ régionales [22]. Ce secteur présente ainsi un levier important afin de réduire les teneurs en dioxyde d'azote notamment où les niveaux sont les plus élevés, à savoir à proximité

¹ Les NO_x regroupent le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂). Dans l'atmosphère, le monoxyde d'azote s'oxyde et est transformé en NO₂.

du trafic routier. Le deuxième secteur d'activité contributeur aux émissions franciliennes d'oxydes d'azote est le secteur résidentiel.

Afin de fournir un éclairage sur les efforts nécessaires pour améliorer durablement la qualité de l'air et réduire son impact sur la santé, Airparif a quantifié les gains d'émissions de polluants primaires nécessaires par zone géographique pour les deux principaux secteurs émetteurs : secteur des transports¹ et secteur lié au « bâti² » [23]. L'encadré ci-après fournit des éléments de compréhension sur les liens entre émissions et concentrations (Encadré 8).

Ainsi, ces gains d'émissions ont été évalués d'une part pour respecter les valeurs réglementaires (valeur limite annuelle) et d'autre part pour tendre vers les niveaux recommandés par l'OMS, considérant les valeurs cibles intermédiaires pour les PM_{2,5} à 10 µg/m³ (cible 4) et pour le NO₂ à 20 µg/m³ (cible 3). Ces gains d'émission ont été évalués par rapport à l'inventaire des émissions établi pour l'année 2018, correspondant à l'inventaire des émissions le plus récent disponible.

Encadré 8. Liens entre émissions et concentrations de polluants

Les **émissions de polluants** correspondent aux quantités de polluants directement rejetées dans l'atmosphère par les activités humaines (cheminées d'usine ou de logements, pots d'échappement, agriculture...) ou par des sources naturelles (volcans, ou composés émis par la végétation et les sols) exprimées par exemple en kilogrammes ou tonnes par an ou par heure.

Les **concentrations de polluants** caractérisent la qualité de l'air que l'on respire, et s'expriment le plus souvent en microgrammes par mètre cube (µg/m³). Il n'y a pas de lien simple et direct entre émissions et concentration. En effet, la qualité de l'air résulte d'un équilibre complexe entre la quantité de polluants rejetée dans l'air et toute une série de phénomènes auxquels ces polluants sont soumis une fois dans l'atmosphère sous l'action de la météorologie : transport, dispersion sous l'action du vent et de la pluie, dépôt ou réactions chimiques des polluants entre eux ou sous l'action des rayons du soleil. Ainsi, il faut distinguer les polluants primaires, qui sont émis directement dans l'atmosphère, des polluants secondaires, qui proviennent de réactions chimiques de gaz entre eux. L'ensemble de ces phénomènes peuvent être modélisés, ainsi à partir de la connaissance des émissions il est possible de prédire les concentrations dans l'air.

La **pollution de fond**, ou pollution ambiante, correspond à des niveaux de pollution, loin de la circulation, représentatifs de l'ambiance générale de tout un secteur géographique. C'est la pollution minimum à laquelle la population de ce secteur est soumise, quelle que soit son activité, et donc pendant de longues périodes. La pollution de fond se mesure dans les lieux éloignés de toute source directe de pollution, par exemple dans les parcs.

La **pollution mesurée à proximité du trafic routier** correspond aux niveaux les plus élevés auxquels la population (conducteurs, cyclistes et piétons) est soumise, mais sur des durées beaucoup plus courtes. Les mesures sont faites sur le trottoir, au plus près de la circulation des véhicules. Ces niveaux sont représentatifs de l'endroit où la mesure a été faite (grand boulevard, autoroute, périphérique, petite rue encaissée ...) et peuvent donc être très variables d'un site trafic à l'autre.

¹ En premier lieu le trafic routier puis le trafic ferroviaire et à la marge le fluvial (< 1% des émissions d'oxydes d'azote).

² Principalement le secteur résidentiel (chauffage essentiellement), le secteur tertiaire et les émissions dues aux chantiers, le secteur résidentiel représentant des deux-tiers des émissions liées au « Bâti ».

Les principaux résultats de cette étude sont présentés ci-après. Pour plus de détails, se référer au rapport complet [23] consultable à l'adresse suivante : <https://www.airparif.fr>.

Gains nécessaires pour le dioxyde d'azote

À Paris et dans le reste de la Métropole, cœur dense de l'agglomération où la densité d'émissions est la plus importante, une baisse des émissions liées aux transports de plus de 60 % est nécessaire pour respecter sur l'ensemble des stations de proximité (voir Encadré 8), la valeur limite pour le NO₂ de 40 µg/m³, y compris à proximité du boulevard périphérique où les dépassements les plus importants sont observés actuellement.

Au sein de la Métropole du Grand Paris (hors Paris), si un effort sur les émissions du trafic routier était associé à une baisse de 30 % des émissions des secteurs du bâtiment (secteur résidentiel, tertiaire et chantiers), les baisses d'émissions du trafic routier pourraient se limiter à 50 %. Aucune mesure n'est directement identifiée pour mener à bien cette baisse sur le secteur du « bâti ». Toutefois il est à noter que le chauffage résidentiel au bois et au fioul domestique, loin d'être les modes de chauffages les plus répandus, représentent à eux seuls 30 % des émissions du secteur sur la région. Une action directe sur ces sources (modernisation des appareils, conversion) couplée à des mesures contribuant à la réduction des consommations énergétiques des logements, permettraient d'atteindre cette baisse.

Ces gains d'émission s'accompagneraient d'une baisse suffisante hors Métropole pour résorber les quelques secteurs à proximité du trafic routier encore au-dessus des valeurs limites.

Pour atteindre la valeur cible intermédiaire recommandée par l'OMS pour le NO₂ à 20 µg/m³ (cible 3), le travail de modélisation montre que ce seuil ne serait atteint en situation de fond (voir Encadré 8) au sein de la capitale qu'avec une diminution de plus de 60 % des émissions du secteur des Transports couplée à une baisse de 30 % liée au secteur du « bâti ». A proximité du trafic routier, une telle baisse n'entraînerait cependant pas des niveaux en deçà de ce seuil de 20 µg/m³ sur les stations « trafic » du réseau Airparif, et plus encore sur le boulevard périphérique sur lequel les teneurs seraient supérieures à 30 µg/m³. Ainsi, au sein de Paris, atteindre des teneurs en dessous de 20 µg/m³ reste difficile sans une diminution très importante des émissions uniquement liées aux transports. Cette réduction doit se porter également sur d'autres secteurs d'activité afin de limiter l'exposition de la population parisienne à des teneurs supérieures à 20 µg/m³. Ainsi une réduction de plus de 60 % des émissions de l'ensemble des secteurs d'activité entraînerait un dépassement de ce seuil uniquement sur le boulevard périphérique.

Seule une baisse des émissions liées aux transports de plus de 60 % couplée à une baisse de 30 % de celles liées au secteur du bâti permettrait d'atteindre la valeur cible intermédiaire pour le NO₂ de 20 µg/m³ en niveau de fond.

Dans le reste de l'Île-de-France, la situation de fond observerait des teneurs inférieures à 20 µg/m³ avec une baisse de 40 % des émissions du transport. Afin de constater de telles concentrations également à proximité du trafic routier, la réduction des émissions du transport doit être plus importante et atteindre une baisse de 60 %.

Ces gains d'émission doivent être mis en perspective avec les potentiels de baisse d'émission attendus du fait des actions locales déjà engagées et évaluées au niveau national ou régional. À cet effet, Airparif a réalisé un inventaire prospectif des émissions de NO_x et PM_{2,5} à l'horizon 2025. Ainsi, si les transports restent le premier secteur émetteur de NO_x à cette échéance, une baisse de 29 % par rapport à la situation de 2018 peut être attendu à l'échelle de l'Île-de-France mais moindre à Paris (- 19 %). Les premières étapes de la ZFE-m métropolitaine (restriction de circulation aux véhicules « non classés » et « Crit'air 5 » au sein de la Capitale) ont été mises en œuvre dès 2017 à Paris. Ainsi, les gains potentiels sur la période 2018 à 2025 sont plus importants dans le reste de l'Île-de-France. Pour le secteur du « bâti », une baisse 13 % des émissions est attendue à l'échelle de l'Île-de-France. Ainsi, à court terme, des efforts de réduction supplémentaires sur ces secteurs s'avèrent nécessaires eu égard aux pourcentages précédemment annoncés.

À cet égard, Airparif a simulé les gains d'actions potentielles permettant des réductions d'émissions liées au trafic routier. En l'occurrence, des scénarios de modernisation du parc technologique à travers la restriction de circulation de véhicules selon leur niveau « Crit'Air » ont été étudiés. Ces résultats ne sont pas présentés ici, se référer au rapport d'Airparif [23].

Gains nécessaires pour les PM_{2,5}

Concernant les particules PM_{2,5}, la valeur limite est actuellement largement respectée aussi bien en situation de fond qu'à proximité du trafic routier où les teneurs sont les plus élevées.

Pour atteindre la valeur cible intermédiaire recommandée par l'OMS pour les PM_{2,5} à 10 µg/m³ (cible 4) à Paris en situation de fond, en agissant uniquement sur le bâti, il serait nécessaire de réduire les émissions de ce secteur de 50 %. Un effort de réduction sur le bâti couplé à un effort de réduction des émissions liées aux transports de 30 %, demanderait une réduction des émissions de ce secteur ramenée à 40 %.

Cette valeur de 10 µg/m³ de PM_{2,5} ne serait atteinte en situation proximité au trafic routier, dont à proximité du Boulevard Périphérique, qu'à condition d'agir sur l'ensemble des secteurs (transports, bâti, production d'énergie, industrie...) pour atteindre une réduction d'au moins 60 %.

À l'horizon 2025, une diminution de 23 % des émissions liées au secteur des transports est attendue (moins marquée à Paris où une diminution de 16 % seulement est attendue du fait de la mise en place de la ZFE-m depuis 2017). Concernant le secteur du « bâti », une diminution des émissions de PM_{2,5} de 19 % à est attendue à l'échelle de l'Île-de-France et de 23 % à Paris. Cette prospective indique que des efforts de réduction supplémentaires sur ces secteurs, par rapport à ce qui est déjà actuellement entrepris, s'avèrent nécessaires pour atteindre la valeur de 10 µg/m³.

5.2.3 Tendre vers les niveaux d'ozone recommandés par l'OMS : un objectif complexe

L'ozone est un polluant secondaire, formé chimiquement dans l'atmosphère par oxydation des Composés Organiques Volatils (COV) (et du CO) en présence d'oxydes d'azote (NOx), sous l'effet du rayonnement solaire et de fortes températures. Les processus de formation et de destruction de l'ozone dans l'atmosphère sont extrêmement complexes, faisant intervenir des phénomènes spécifiques entre les gaz précurseurs. Ils dépendent en particulier de l'équilibre entre les proportions de COV et de NOx dans l'atmosphère, qui induisent des régimes de formation de l'ozone plus ou moins rapides. Une baisse des niveaux d'un des précurseurs (COV ou NOx) n'induit ainsi pas obligatoirement une diminution des concentrations en ozone, et notamment dans le cas où l'équilibre entre ces composés n'est plus respecté. Ce déséquilibre peut même conduire à une augmentation des concentrations en ozone. Cet équilibre complexe entre les COV et les NOx est à prendre en compte dans la mise en place d'une stratégie de réduction des émissions de précurseurs pour limiter la pollution à l'ozone.

Entre 1994 et 2019, les niveaux moyens annuels d'ozone mesurés dans l'agglomération parisienne ont doublé. Cette hausse est constatée en France, mais également dans toute l'Europe. Elle est principalement liée à deux phénomènes. Le premier tient paradoxalement à la diminution des niveaux d'oxydes d'azote (NOx) dans les grandes agglomérations des pays les plus développés. En effet, la baisse régulière des niveaux de monoxyde d'azote (NO), qui localement dans les cœurs urbains détruit chimiquement l'ozone, induit une hausse des niveaux moyens d'ozone.

Le second s'observe dans l'ensemble de l'hémisphère nord : L'augmentation du transport intercontinental de l'ozone et de ses précurseurs, dont les émissions ont été multipliées par 5 en un siècle dans l'hémisphère nord, est également à prendre en compte [24,25].

La formation d'ozone est régie par l'équilibre complexe entre les COV et les oxydes d'azote à mettre en perspective avec une stratégie de réduction des émissions des précurseurs d'ozone.

Les scientifiques s'accordent à dire qu'il n'y aura pas de baisse des niveaux moyens d'ozone tant que les émissions de précurseurs à l'échelle globale ne diminueront pas de manière sensible [26–28].

Le nombre et l'occurrence des épisodes de pollution sont variables d'une année à l'autre et sont étroitement liés au contexte météorologique. En été, à conditions météorologiques équivalentes, les concentrations maximales en ozone ont tendance à diminuer en Île-de-France. Ceci est probablement lié à la diminution des concentrations des précurseurs (voir Encadré 9), à une évolution des ratios entre eux et un changement dans les dynamiques de formation de l'ozone.

Encadré 9. Sources d'émission des composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) et évolution des contributions

Le secteur résidentiel, avec 34 %, est le principal contributeur aux émissions de COVNM en Ile-de-France. Les émissions sont liées en majorité (63 %) à l'utilisation domestique de produits solvantés (peintures, colles...), produits pharmaceutiques, mais également au chauffage au bois (36 %). Pour l'industrie, qui représente 21 % des émissions régionales, les émissions sont issues des émissions de certains procédés industriels et de l'utilisation de solvants (fabrication de produits alimentaires, imprimerie, automobile, traitement des métaux...).

Les baisses d'émissions de COVNM entre 2010 et 2018 sont de 18 % pour le secteur résidentiel et 25 % pour l'industrie. Les baisses s'expliquent par une baisse des taux de COVNM dans de nombreux produits solvantés, une amélioration des performances des appareils de chauffage au bois et une amélioration dans la gestion des émissions industrielles.

Dans les secteurs d'activités moins contributeurs, les diminutions d'émissions sont de 70 % pour le transport routier, et de 11 % dans la branche énergie.

Cependant, les niveaux de pointe en ozone sont étroitement liés aux vagues de chaleur, dont la fréquence et l'intensité tendent à augmenter en Europe [29]. De ce fait, le changement climatique affectera les futures concentrations d'ozone, en raison de l'évolution des conditions météorologiques, avec notamment plus d'épisodes caniculaires, ainsi qu'en raison de l'augmentation des émissions de précurseurs spécifiques (notamment celles des COV biogéniques dues à la hausse des températures).

La quantification des futurs niveaux d'ozone reste donc incertaine. Les modélisations prévoient une augmentation des concentrations en ozone à moyen et long terme, au-delà de 2040 [30]. Toutefois, cette tendance pourrait être compensée par les mesures envisagées de réduction des émissions de précurseurs d'ozone [31].

L'ozone étant un polluant dont les processus de formation et de transport sont effectifs sur de longues distances. Considérant qu'une part non négligeable d'ozone résulte de l'import en provenance des régions environnantes, il apparaît indispensable de mettre en place des actions de réduction de grande ampleur et à très large échelle géographique (a minima régional, voire idéalement interrégional ou national) sur les précurseurs d'ozone pour lutter efficacement contre la pollution photochimique.

Lutter efficacement contre la pollution photochimique implique une action à large échelle géographique sur les précurseurs d'ozone du régional au national.

6 | CONCLUSION

Évaluer l'impact sur la santé de l'exposition à la pollution de l'air permet d'objectiver cet enjeu de santé publique et de légitimer les mesures de lutte contre la pollution atmosphérique. Ainsi les résultats des EQIS peuvent être utilisés pour informer les parties-prenantes, orienter les politiques publiques d'amélioration de la qualité de l'air et favoriser l'acceptabilité sociale des mesures.

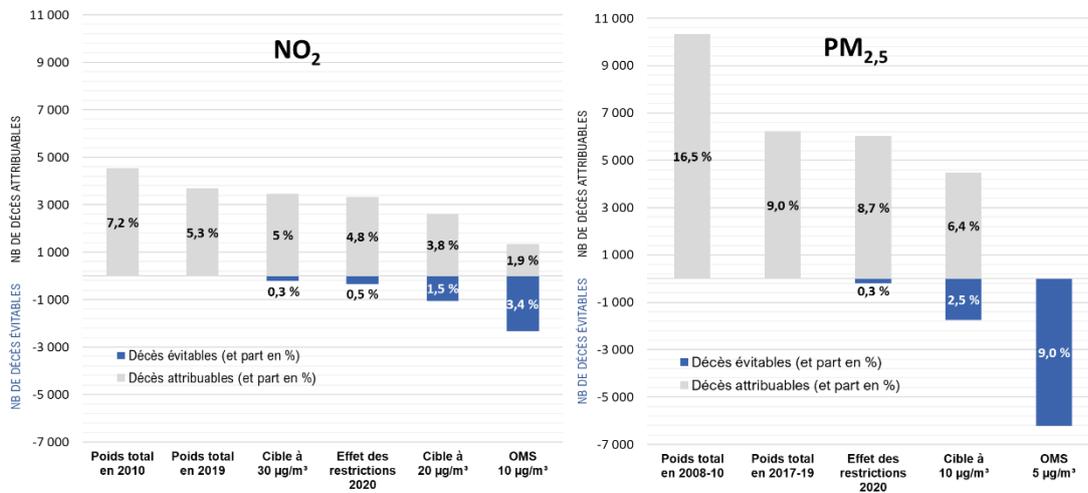
Alors que l'Île-de-France fait partie des zones visées par un contentieux relatif aux oxydes d'azote, pour non-respect des valeurs limites en NO₂ établies à 40 µg/m³, les nouvelles recommandations de qualité de l'air de l'OMS pour protéger la santé des populations peuvent paraître difficilement atteignables pour la zone dense. Pour faciliter l'amélioration progressive de la qualité de l'air et donc l'obtention progressive, mais significative, d'avantages en termes de santé de la population, des objectifs intermédiaires ont été proposés par l'OMS. Ces bénéfices ont été évalués ici, par territoires, afin de rendre compte de leurs spécificités et faciliter l'intégration des résultats des EQIS aux différentes échelles de décision. Ces résultats sont par ailleurs détaillés pour chaque intercommunalité francilienne (EPT (établissements public territoriaux) et EPCI (établissements publics de coopération intercommunale)).

Rappelons que l'exposition prolongée à la pollution de l'air avant de causer des décès engendre un grand nombre de cas de pathologies chroniques et altère la qualité de vie d'une part importante de la population et ce dès l'enfance. Afin de fournir une vision plus large des enjeux de santé publique, cette première analyse qui a porté uniquement sur la mortalité sera complétée par une quantification des principaux impacts en matière de morbidité lorsque les données épidémiologiques seront estimées suffisamment robustes.

Les scénarios théoriques ne renseignent pas sur les leviers à mettre en œuvre pour atteindre des objectifs de qualité de l'air, ainsi ce travail est à mettre en regard d'autres approches qui fournissent des données complémentaires utiles à l'élaboration ou la mise à jour des plans d'actions d'amélioration de la qualité de l'air. En particulier, il peut être mentionné l'analyse prospective menée par Airparif en matière de scénarios de réduction d'émissions liées aux principales sources de PM_{2,5} et de NO₂ dont les principaux résultats sont présentés dans ce rapport. En ce qui concerne l'ozone dont la formation est régie par des phénomènes particulièrement complexes, une action à large échelle géographique sur les précurseurs, du régional au national, est nécessaire pour lutter efficacement contre cette pollution photochimique.

Enfin, si certaines valeurs de qualité de l'air pour protéger la santé des populations recommandées par l'OMS peuvent paraître lointaines, un regard en arrière montre le chemin déjà parcouru (Figure 44).

Figure 44 : Impacts de l'exposition prolongée aux PM_{2,5} et au NO₂ sur la mortalité annuelle, mise en perspective des différents « scénarios »



Cette évaluation ne peut qu'encourager la poursuite de l'action qui a permis une amélioration continue de la qualité de l'air. Ces efforts ont été récompensés par une baisse d'au moins 40 % des décès attribuables à l'exposition chronique à la pollution de l'air sur la dernière décennie. Cela se traduit par un gain moyen de près de huit mois d'espérance de vie pour l'ensemble des Franciliens. Ce chiffre conséquent inscrit la lutte contre la pollution de l'air comme une mesure de santé publique particulièrement pertinente et efficace à poursuivre et à renforcer. Ainsi, chaque année, plus d'un décès sur dix pourrait encore être évité dans le cœur de l'agglomération si les niveaux de particules fines étaient ramenés au niveau recommandé par l'OMS (5 µg/m³).

ANNEXES

Annexe 1 : 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 classe 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 :

$${}_nL_x = \frac{l_x}{n M_x}$$

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 2 : Évolution des émissions d'oxydes d'azote et particules en Île-de-France sur la dernière décennie

La nette amélioration de la qualité de l'air constatée est due à des réductions des émissions importantes d'oxydes d'azote (NOx) et de particules primaires de PM₁₀ respectivement de 30 % et 21 % entre 2010 et 2018. Les évolutions d'émissions sont toutefois très différentes selon les secteurs d'activités.

Concernant les oxydes d'azote, des diminutions très importantes peuvent atteindre 70 % pour la branche énergie ou au contraire observer une augmentation comme cela est le cas pour les émissions liées aux plateformes aéroportuaires (+7 %), seul secteur en augmentation depuis 2010.

Le transport routier est le principal contributeur aux émissions de NOx avec plus de la moitié (53 %) des émissions franciliennes. Ces émissions sont issues des véhicules Diesel avec une contribution à hauteur de 94 %, toutes catégories de véhicules confondues alors qu'ils représentent 69 % des kilomètres parcourus en 2018. Les émissions de NOx du transport routier ont diminué de 32 % entre 2010 et 2018 grâce à l'amélioration technologique des véhicules et une réduction du volume de trafic de 3 % à l'échelle régionale. Deuxième contributeur avec 11 % des émissions régionales, les émissions de NOx du secteur résidentiel ont diminué de 14 % entre 2010 et 2018. Contrairement au gaz et au fioul, dont les émissions ont diminué respectivement de 20 % et de 11 %, le chauffage au bois présente une augmentation de ses émissions de NOx de 11 % entre 2010 et 2018. L'utilisation de bois de chauffage a fortement augmenté depuis 2010 (+37 % en consommation d'énergie). Le renouvellement des appareils de chauffage au bois a toutefois permis de limiter la hausse des émissions de NOx. Le gaz naturel, avec 49 % des consommations énergétiques, reste cependant la principale source d'énergie utilisée du secteur résidentiel et la principale source d'émissions de NOx (64 %).

Une baisse importante des émissions de particules primaires PM₁₀ (-21 % entre 2010 et 2018) explique également l'amélioration de la qualité de l'air. La hiérarchie du secteur le plus émetteur pour les particules PM₁₀ est inverse de celle des oxydes d'azote puisque le secteur résidentiel (émissions issues du chauffage essentiellement, de la production d'eau chaude sanitaire et de la cuisson) représente 35 % des émissions de particules PM₁₀ primaires contre 17 % pour le transport routier. Les émissions du secteur résidentiel sont en baisse de 25 % entre 2010 et 2018 alors que les consommations d'énergie du secteur, tous combustibles confondus, ont stagné (+1 %).

La baisse d'émissions s'explique principalement par l'amélioration des équipements de chauffage au bois : les foyers ouverts émettent beaucoup plus de particules que les foyers fermés anciens qui émettent eux-mêmes beaucoup plus de particules que les foyers fermés récents et performants. Les émissions de PM₁₀ dues au gaz naturel et aux produits pétroliers baissent également en lien avec le report des consommations d'énergies fossiles vers l'électricité et le renouvellement des équipements. La baisse des émissions de PM₁₀ du transport routier entre 2010 et 2018 est également importante pour ce polluant avec une baisse de 44 %. Elle concerne principalement les émissions à l'échappement des véhicules diesel. Les améliorations technologiques successives apportées sur les émissions de particules à l'échappement des véhicules diesel, avec notamment la généralisation des filtres à particules sur les véhicules diesel récents. De plus, la distance parcourue par les véhicules diesel a légèrement diminué entre 2015 et 2018 (-5%) au profit des véhicules essence, dont les émissions de PM₁₀ à l'échappement sont faibles. Dans les mêmes proportions que le trafic routier, les chantiers et l'agriculture contribuent également aux émissions de PM₁₀ à hauteur respectivement de 17 % et 18 %. Les émissions depuis 2010 de ces secteurs sont stables avec une légère augmentation de 2 % pour les chantiers et une diminution à hauteur de 2 % des émissions de particules PM₁₀ de l'agriculture, dont les émissions sont essentiellement dues aux cultures de terres arables (pour 94 %).

Annexe 3 : Répartition de l'impact sanitaire de la pollution de l'air aux niveaux actuels par sous-territoires

Tableau 19 : Nombre de décès évitables dans la population des plus de 30 ans selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de trois polluants pour chaque périmètre

Polluants	Niveaux de référence	Paris	MGP	Zone sensible	Rural
PM _{2,5}	5 µg/m³ recommandation OMS	1 500 [540 ; 2 300]	2 620 [940 ; 4 060]	1 580 [570 ; 2 460]	530 [190 ; 820]
	10 µg/m ³ Cible intermédiaire 4	660 [230 ; 1 030]	840 [300 ; 1 330]	240 [80 ; 380]	10 [0 ; 20]
	1 µg/m ³ « sans » pollution	950 [340 ; 1 490]	1680 [600 ; 2 630]	860 [300 ; 1 350]	190 [70 ; 300]
NO ₂	10 µg/m³ recommandation OMS	700 [250 ; 1 100]	1 150 [410 ; 1 810]	460 [160 ; 720]	40 [10 ; 60]
	20 µg/m ³ Cible intermédiaire 2	420 [150 ; 660]	560 [200 ; 880]	90 [30 ; 140]	0 [0 ; 0]
	30 µg/m ³ Cible intermédiaire 3	130 [40 ; 200]	90 [30 ; 150]	5 [0 ; 10]	0 [0 ; 0]
	55 µg/m ³ Pollution anthropique minimale	340 [0 ; 670]	780 [0 ; 1520]	630 [0 ; 1240]	290 [0 ; 560]
O ₃	60 µg/m³ recommandation OMS	280 [0 ; 540]	640 [0 ; 1270]	530 [0 ; 1040]	240 [0 ; 480]
	70 µg/m ³ Cible intermédiaire 2	150 [0 ; 290]	380 [0 ; 750]	330 [0 ; 660]	160 [0 ; 310]

Tableau 20 : Part de décès évitables dans la population des plus de 30 ans (en %) selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de trois polluants pour chaque périmètre

Polluants	Niveaux de référence	Paris	MGP	Zone sensible	Rural
PM _{2,5}	5 µg/m³ recommandation OMS	11,4 [4,1 ; 17,6]	9,7 [3,5 ; 15]	7,8 [2,8 ; 12,1]	6,1 [2,2 ; 9,5]
	10 µg/m ³ Cible intermédiaire 4	5 [1,8 ; 7,9]	3,1 [1,1 ; 4,9]	1,2 [0,4 ; 1,9]	0,1 [0 ; 0,2]
	1 µg/m ³ « sans » pollution	7,3 [2,6 ; 11,4]	6,2 [2,2 ; 9,7]	4,2 [1,5 ; 6,6]	2,2 [0,8 ; 3,4]
NO ₂	10 µg/m³ recommandation OMS	5,4 [1,9 ; 8,4]	4,2 [1,5 ; 6,7]	2,2 [0,8 ; 3,5]	0,4 [0,2 ; 0,7]
	20 µg/m ³ Cible intermédiaire 2	3,2 [1,1 ; 5]	2 [0,7 ; 3,2]	0,4 [0,1 ; 0,7]	0 [0 ; 0]
	30 µg/m ³ Cible intermédiaire 3	1 [0,3 ; 1,5]	0,3 [0,1 ; 0,6]	0 [0 ; 0]	0 [0 ; 0]
	55 µg/m ³ Pollution anthropique minimale	2,6 [0 ; 5,1]	2,9 [0 ; 5,6]	3,1 [0 ; 6,1]	3,3 [0 ; 6,4]
O ₃	60 µg/m³ recommandation OMS	2,1 [0 ; 4,2]	2,4 [0 ; 4,7]	2,6 [0 ; 5,1]	2,8 [0 ; 5,5]
	70 µg/m ³ Cible intermédiaire 2	1,1 [0 ; 2,2]	1,4 [0 ; 2,8]	1,6 [0 ; 3,2]	1,8 [0 ; 3,6]

Tableau 21 : Gains moyens en espérance de vie (en mois) dans la population des plus de 30 ans selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de trois polluants pour chaque périmètre

Polluants	Niveaux de référence	Paris	MGP	Zone sensible	Rural
PM _{2,5}	5 µg/m³ recommandation OMS	10,4 [3,7 ; 16,2]	8,9 [3,2 ; 13,9]	6,5 [2,3 ; 10,3]	5,9 [2,1 ; 9,3]
	10 µg/m ³ Cible intermédiaire 4	4,5 [1,6 ; 7,2]	2,8 [1 ; 4,4]	0,9 [0,3 ; 1,4]	0,4 [0,1 ; 0,7]
	1 µg/m ³ « sans » pollution	6,6 [2,3 ; 10,3]	5,7 [2 ; 9]	3,6 [1,3 ; 5,6]	2,5 [0,9 ; 4]
NO ₂	10 µg/m³ recommandation OMS	4,8 [1,7 ; 7,6]	3,9 [1,4 ; 6,2]	1,9 [0,7 ; 3]	0,9 [0,3 ; 1,4]
	20 µg/m ³ Cible intermédiaire 2	2,9 [1 ; 4,6]	1,9 [0,7 ; 3]	0,4 [0,1 ; 0,6]	0,1 [0 ; 0,2]
	30 µg/m ³ Cible intermédiaire 3	0,9 [0,3 ; 1,4]	0,3 [0,1 ; 0,6]	0 [0 ; 0]	0 [0 ; 0]
	55 µg/m ³ Pollution anthropique minimale	2,3 [0 ; 4,6]	2,6 [0 ; 5,2]	2,7 [0 ; 5,2]	2,8 [0 ; 5,6]
O ₃	60 µg/m³ recommandation OMS	1,9 [0 ; 3,7]	2,2 [0 ; 4,3]	2,2 [0 ; 4,4]	2,4 [0 ; 4,7]
	70 µg/m ³ Cible intermédiaire 2	1 [0 ; 2]	1,3 [0 ; 2,6]	1,4 [0 ; 2,8]	1,5 [0 ; 3]

Annexe 4 : Estimations d'impact par intercommunalités pour les scénarios OMS et cibles intermédiaires

Tableau 22 : Nombre et part de décès évitables dans la population des plus de 30 ans selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de PM_{2,5} pour chaque intercommunalité

Intercommunalités	OMS (5 µg/m ³)			Cible 4 (10 µg/m ³)		
	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)
Paris (T1)	1500 [540 ; 2300]	11,4 [4,1 ; 17,6]	10,4 [3,7 ; 16,2]	660 [230 ; 1030]	5 [1,8 ; 7,9]	4,5 [1,6 ; 7,2]
Vallée Sud Grand Paris (T2)	240 [80 ; 360]	9,6 [3,5 ; 14,8]	8,1 [2,9 ; 12,7]	70 [30 ; 120]	3 [1,1 ; 4,8]	2,6 [0,9 ; 4,1]
Grand Paris Seine Ouest (T3)	190 [70 ; 290]	9,6 [3,5 ; 14,9]	8 [2,9 ; 12,5]	60 [20 ; 100]	3,1 [1,1 ; 4,9]	2,6 [0,9 ; 4]
Paris Ouest La Défense (T4)	310 [110 ; 480]	9,7 [3,5 ; 15]	8,4 [3 ; 13,1]	100 [40 ; 160]	3,2 [1,1 ; 5]	2,7 [0,9 ; 4,3]
Boucle Nord de Seine (T5)	250 [90 ; 380]	10,2 [3,7 ; 15,8]	9,6 [3,4 ; 15,1]	90 [30 ; 140]	3,8 [1,3 ; 5,9]	3,5 [1,2 ; 5,5]
Plaine Commune (T6)	200 [70 ; 310]	10,3 [3,7 ; 15,9]	10,6 [3,8 ; 16,5]	70 [30 ; 120]	3,8 [1,3 ; 5,9]	3,8 [1,3 ; 6]
Paris Terres d'Envol (T7)	170 [60 ; 260]	9,2 [3,3 ; 14,2]	9 [3,2 ; 14,1]	50 [20 ; 80]	2,6 [0,9 ; 4,1]	2,5 [0,9 ; 4]
Est ensemble (T8)	230 [80 ; 350]	10 [3,6 ; 15,4]	9,9 [3,5 ; 15,5]	80 [30 ; 120]	3,4 [1,2 ; 5,4]	3,4 [1,2 ; 5,3]
Grand Paris - Grand Est (T9)	200 [70 ; 310]	9,2 [3,3 ; 14,3]	8,6 [3 ; 13,4]	60 [20 ; 90]	2,7 [0,9 ; 4,2]	2,4 [0,9 ; 3,9]
Paris Est Marne et Bois (T10)	310 [110 ; 470]	9,7 [3,5 ; 15]	8,4 [3 ; 13,2]	100 [40 ; 160]	3,1 [1,1 ; 4,9]	2,7 [0,9 ; 4,3]
Grand Paris Sud Est Avenir (T11)	150 [50 ; 230]	8,8 [3,2 ; 13,7]	8,2 [2,9 ; 12,8]	40 [10 ; 60]	2,2 [0,8 ; 3,6]	2,1 [0,7 ; 3,3]
Grand-Orly Seine Bièvre (T12)	390 [140 ; 600]	9,6 [3,5 ; 14,9]	9,2 [3,3 ; 14,4]	120 [40 ; 200]	3,1 [1,1 ; 4,9]	2,9 [1 ; 4,6]
Carnelle Pays de France	20 [0 ; 20]	7,2 [2,6 ; 11,2]	6,1 [2,1 ; 9,5]	-	0,5 [0,2 ; 0,8]	0,4 [0,1 ; 0,6]
Cergy-Pontoise	60 [20 ; 90]	7,2 [2,6 ; 11,3]	6,7 [2,4 ; 10,5]	0 [0 ; 10]	0,5 [0,2 ; 0,8]	0,5 [0,2 ; 0,8]
Haut-Val-d'Oise	10 [0 ; 20]	7,1 [2,5 ; 11]	7,2 [2,6 ; 11,4]	-	0,3 [0,1 ; 0,5]	0,3 [0,1 ; 0,5]
Plaine Vallée	100 [40 ; 160]	8,9 [3,2 ; 13,8]	7,7 [2,7 ; 12,1]	30 [10 ; 40]	2,3 [0,8 ; 3,6]	1,9 [0,7 ; 3,1]
Sausseron Impressionnistes	10 [0 ; 10]	6,9 [2,5 ; 10,8]	5,8 [2,1 ; 9,2]	-	0,3 [0,1 ; 0,4]	0,2 [0,1 ; 0,3]
Val Parisis	140 [50 ; 220]	8,5 [3,1 ; 13,2]	7,5 [2,7 ; 11,8]	30 [10 ; 50]	1,9 [0,7 ; 3]	1,6 [0,6 ; 2,6]
Vallée de l'Oise et des trois forêts	20 [10 ; 30]	7,2 [2,6 ; 11,3]	6,1 [2,2 ; 9,6]	-	0,5 [0,2 ; 0,8]	0,4 [0,2 ; 0,7]
Vexin Centre	10 [0 ; 20]	6,2 [2,2 ; 9,7]	5,4 [1,9 ; 8,6]	-	-	-
Vexin Val de Seine	10 [0 ; 10]	5,9 [2,1 ; 9,2]	5,1 [1,8 ; 8,1]	-	-	-
Roissy Pays de France	150 [50 ; 230]	8,5 [3,1 ; 13,2]	8,1 [2,9 ; 12,7]	30 [10 ; 50]	1,9 [0,7 ; 3]	1,8 [0,6 ; 2,8]

Intercommunalités	OMS (5 µg/m³)			Cible 4 (10 µg/m³)		
	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)
Bassée-Montois	10 [0 ; 20]	6 [2,2 ; 9,5]	5,7 [2 ; 9,1]	-	-	-
Brie des Rivières et Châteaux	20 [0 ; 20]	6,4 [2,3 ; 10]	5,5 [1,9 ; 8,6]	-	0,1 [0 ; 0,1]	0,1 [0 ; 0,1]
Coulommiers Pays de Brie	40 [20 ; 70]	6,3 [2,2 ; 9,8]	5,7 [2 ; 8,9]	-	0,1 [0 ; 0,1]	0,1 [0 ; 0,1]
Deux Morin	10 [0 ; 20]	5,7 [2 ; 9]	5,2 [1,8 ; 8,2]	-	-	-
Gâtinais Val-de-Loing	10 [0 ; 20]	5,4 [1,9 ; 8,6]	4,9 [1,7 ; 7,7]	-	-	-
La Brie Nangissienne	10 [0 ; 20]	6,2 [2,2 ; 9,7]	5,9 [2,1 ; 9,3]	-	-	-
Les Portes briardes entre Villes et Forêts	20 [10 ; 30]	7,1 [2,5 ; 11,1]	6,1 [2,2 ; 9,6]	-	0,4 [0,1 ; 0,7]	0,3 [0,1 ; 0,6]
L'Orée de la Brie	10 [0 ; 20]	7,5 [2,7 ; 11,6]	5,7 [2 ; 8,9]	-	0,8 [0,3 ; 1,2]	0,6 [0,2 ; 0,9]
Marne et Gondoire	40 [10 ; 50]	7,8 [2,8 ; 12,1]	6,3 [2,2 ; 9,9]	0 [0 ; 10]	1,1 [0,4 ; 1,8]	0,9 [0,3 ; 1,4]
Melun Val de Seine	60 [20 ; 90]	6,9 [2,5 ; 10,8]	6,4 [2,3 ; 10,1]	-	0,4 [0,1 ; 0,6]	0,4 [0,1 ; 0,6]
Moret Seine & Loing	20 [10 ; 30]	5,6 [2 ; 8,8]	4,8 [1,7 ; 7,6]	-	-	-
Paris Vallée de la Marne	90 [30 ; 140]	8,4 [3 ; 13]	7,3 [2,6 ; 11,4]	20 [10 ; 30]	1,7 [0,6 ; 2,7]	1,5 [0,5 ; 2,4]
Pays de Fontainebleau	30 [10 ; 50]	5,6 [2 ; 8,8]	4,7 [1,6 ; 7,3]	-	0,1 [0 ; 0,1]	0,1 [0 ; 0,1]
Pays de l'Ourcq	10 [0 ; 10]	6,4 [2,3 ; 10,1]	6,6 [2,3 ; 10,4]	-	-	-
Pays de Meaux	40 [10 ; 60]	7,2 [2,6 ; 11,2]	7,1 [2,5 ; 11,1]	-	0,5 [0,2 ; 0,7]	0,4 [0,2 ; 0,7]
Pays de Montereau	20 [10 ; 30]	5,9 [2,1 ; 9,3]	5,6 [2 ; 8,8]	-	-	-
Pays de Nemours	20 [0 ; 20]	5,1 [1,8 ; 8]	4,8 [1,7 ; 7,6]	-	-	-
Plaines & Monts de France	10 [0 ; 10]	7,4 [2,6 ; 11,5]	6,3 [2,2 ; 10]	-	0,7 [0,2 ; 1,1]	0,6 [0,2 ; 0,9]
Provinois	20 [10 ; 30]	5,9 [2,1 ; 9,3]	5,5 [1,9 ; 8,7]	-	-	-
Val briard	10 [0 ; 20]	6,4 [2,3 ; 10]	5,1 [1,8 ; 8]	-	-	-
Val d'Europe Agglomération	10 [0 ; 20]	7,3 [2,6 ; 11,3]	6,6 [2,3 ; 10,3]	-	0,5 [0,2 ; 0,9]	0,5 [0,2 ; 0,8]
Grand Paris Sud Seine Essonne Sénart	110 [40 ; 180]	7,6 [2,7 ; 11,9]	6,7 [2,4 ; 10,5]	10 [0 ; 20]	0,9 [0,3 ; 1,5]	0,8 [0,3 ; 1,3]
Cœur d'Essonne Agglomération	80 [30 ; 120]	7,4 [2,6 ; 11,5]	6,4 [2,3 ; 10,1]	10 [0 ; 10]	0,8 [0,3 ; 1,3]	0,7 [0,2 ; 1,1]
Communauté Paris Saclay	120 [40 ; 190]	7,7 [2,8 ; 12]	6,2 [2,2 ; 9,8]	20 [10 ; 30]	1,1 [0,4 ; 1,7]	0,9 [0,3 ; 1,4]
Deux Vallées	10 [0 ; 10]	5,3 [1,9 ; 8,3]	4,7 [1,7 ; 7,4]	-	-	-
Dourdannais en Hurepoix	10 [0 ; 20]	5,4 [1,9 ; 8,4]	4,6 [1,6 ; 7,2]	-	-	-
Entre Juine et Renarde	10 [0 ; 20]	5,7 [2 ; 9]	4,9 [1,7 ; 7,7]	-	-	-

Intercommunalités	OMS (5 µg/m³)			Cible 4 (10 µg/m³)		
	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)
L'Etampois Sud Essonne	20 [10 ; 30]	5,1 [1,8 ; 8]	4,7 [1,6 ; 7,4]	-	-	-
Pays de Limours	10 [0 ; 10]	6 [2,1 ; 9,4]	4,3 [1,5 ; 6,8]	-	-	-
Val d'Essonne	20 [10 ; 40]	6,4 [2,3 ; 10]	5 [1,8 ; 7,9]	-	0,1 [0 ; 0,2]	0,1 [0 ; 0,2]
Val d'Yerres Val de Seine	100 [40 ; 150]	8,3 [3 ; 12,9]	7,2 [2,6 ; 11,4]	20 [10 ; 30]	1,6 [0,6 ; 2,6]	1,4 [0,5 ; 2,3]
Cœur d'Yvelines	20 [10 ; 30]	5,6 [2 ; 8,7]	4,1 [1,4 ; 6,4]	-	-	-
Gally Mauldre	10 [0 ; 10]	6,1 [2,2 ; 9,5]	4,2 [1,5 ; 6,6]	-	-	-
Grand Paris Seine & Oise	150 [50 ; 240]	6,5 [2,3 ; 10,2]	5,8 [2 ; 9,1]	10 [0 ; 10]	0,3 [0,1 ; 0,4]	0,2 [0,1 ; 0,4]
Haute vallée de Chevreuse	10 [0 ; 20]	5,9 [2,1 ; 9,2]	4,3 [1,5 ; 6,8]	-	-	-
Les Portes de l'Île-de-France	10 [0 ; 10]	5,6 [2 ; 8,9]	5,7 [2 ; 9]	-	-	-
Pays Houdanais	10 [0 ; 20]	5,1 [1,8 ; 8]	4,4 [1,6 ; 7]	-	-	-
Rambouillet Territoires	30 [10 ; 40]	5,3 [1,9 ; 8,3]	4,4 [1,5 ; 6,9]	-	-	-
Saint-Germain Boucles de Seine	180 [60 ; 280]	8,4 [3 ; 13,1]	6,7 [2,4 ; 10,5]	40 [10 ; 60]	1,8 [0,6 ; 2,8]	1,4 [0,5 ; 2,2]
Saint-Quentin-en-Yvelines	60 [20 ; 90]	6,3 [2,3 ; 9,9]	5,5 [1,9 ; 8,6]	-	0,1 [0 ; 0,1]	0,1 [0 ; 0,1]
Versailles Grand Parc	120 [40 ; 190]	7,9 [2,8 ; 12,2]	6 [2,1 ; 9,4]	20 [10 ; 30]	1,2 [0,4 ; 1,9]	0,9 [0,3 ; 1,5]

Tableau 23 : Nombre et part de décès évitables dans la population des plus de 30 ans selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de NO₂ pour chaque intercommunalité

Intercommunalités	OMS (10 µg/m ³)			Cible 2 (20 µg/m ³)			Cible 3 (30 µg/m ³)		
	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)
Paris (T1)	700 [250 ; 1100]	5,4 [1,9 ; 8,4]	4,8 [1,7 ; 7,6]	420 [150 ; 660]	3,2 [1,1 ; 5]	2,9 [1 ; 4,6]	130 [40 ; 200]	1 [0,3 ; 1,5]	0,9 [0,3 ; 1,4]
Vallée Sud Grand Paris (T2)	100 [40 ; 160]	4,3 [1,5 ; 6,7]	3,6 [1,3 ; 5,7]	50 [20 ; 80]	2,1 [0,7 ; 3,3]	1,7 [0,6 ; 2,8]	10 [0 ; 10]	0,3 [0,1 ; 0,4]	0,2 [0,1 ; 0,4]
Grand Paris Seine Ouest (T3)	80 [30 ; 120]	4 [1,4 ; 6,3]	3,3 [1,2 ; 5,2]	40 [10 ; 60]	1,8 [0,6 ; 2,8]	1,5 [0,5 ; 2,3]	0 [0 ; 10]	0,2 [0,1 ; 0,3]	0,1 [0,1 ; 0,2]
Paris Ouest La Défense (T4)	130 [40 ; 200]	3,9 [1,4 ; 6,2]	3,3 [1,2 ; 5,3]	60 [20 ; 90]	1,7 [0,6 ; 2,7]	1,4 [0,5 ; 2,3]	10 [0 ; 10]	0,2 [0,1 ; 0,4]	0,2 [0,1 ; 0,3]
Boucle Nord de Seine (T5)	100 [40 ; 160]	4,2 [1,5 ; 6,6]	3,9 [1,4 ; 6,2]	50 [20 ; 80]	2 [0,7 ; 3,2]	1,9 [0,7 ; 3]	10 [0 ; 10]	0,3 [0,1 ; 0,4]	0,2 [0,1 ; 0,4]
Plaine Commune (T6)	90 [30 ; 140]	4,7 [1,7 ; 7,4]	4,8 [1,7 ; 7,6]	50 [20 ; 80]	2,5 [0,9 ; 4]	2,5 [0,9 ; 4]	10 [0 ; 20]	0,6 [0,2 ; 0,9]	0,6 [0,2 ; 0,9]
Paris Terres d'Envol (T7)	80 [30 ; 120]	4,2 [1,5 ; 6,7]	4,1 [1,5 ; 6,5]	40 [10 ; 60]	2 [0,7 ; 3,2]	2 [0,7 ; 3,1]	0 [0 ; 10]	0,3 [0,1 ; 0,4]	0,3 [0,1 ; 0,4]
Est ensemble (T8)	110 [40 ; 180]	4,9 [1,8 ; 7,7]	4,8 [1,7 ; 7,6]	60 [20 ; 100]	2,7 [1 ; 4,3]	2,6 [0,9 ; 4,2]	10 [0 ; 20]	0,6 [0,2 ; 1]	0,6 [0,2 ; 1]
Grand Paris - Grand Est (T9)	80 [30 ; 120]	3,5 [1,2 ; 5,6]	3,2 [1,1 ; 5,1]	30 [10 ; 40]	1,3 [0,5 ; 2,1]	1,2 [0,4 ; 1,9]	-	0,1 [0 ; 0,2]	0,1 [0 ; 0,1]
Paris Est Marne et Bois (T10)	140 [50 ; 210]	4,3 [1,5 ; 6,7]	3,7 [1,3 ; 5,8]	60 [20 ; 100]	2,1 [0,7 ; 3,3]	1,8 [0,6 ; 2,8]	10 [0 ; 20]	0,4 [0,1 ; 0,6]	0,3 [0,1 ; 0,5]
Grand Paris Sud Est Avenir (T11)	50 [20 ; 80]	3,1 [1,1 ; 5]	2,9 [1 ; 4,6]	20 [10 ; 30]	1 [0,4 ; 1,7]	1 [0,3 ; 1,5]	-	0,1 [0 ; 0,2]	0,1 [0 ; 0,2]
Grand-Orly Seine Bièvre (T12)	200 [70 ; 310]	4,9 [1,7 ; 7,6]	4,6 [1,6 ; 7,3]	110 [40 ; 170]	2,7 [0,9 ; 4,2]	2,5 [0,9 ; 4]	20 [10 ; 40]	0,6 [0,2 ; 1]	0,6 [0,2 ; 0,9]
Carnelle Pays de France	-	1,3 [0,4 ; 2]	1,1 [0,4 ; 1,7]	-	-	-	-	-	-
Cergy-Pontoise	10 [0 ; 20]	1,4 [0,5 ; 2,2]	1,3 [0,4 ; 2]	-	0 [0 ; 0,1]	0 [0 ; 0,1]	-	-	-
Haut-Val-d'Oise	-	1 [0,3 ; 1,5]	1 [0,3 ; 1,5]	-	-	-	-	-	-
Plaine Vallée	30 [10 ; 50]	2,6 [0,9 ; 4]	2,2 [0,8 ; 3,5]	10 [0 ; 10]	0,5 [0,2 ; 0,7]	0,4 [0,1 ; 0,6]	-	-	-
Sausseron Impressionnistes	-	0,8 [0,3 ; 1,3]	0,7 [0,2 ; 1,1]	-	-	-	-	-	-
Val Parisis	40 [20 ; 70]	2,6 [0,9 ; 4,1]	2,3 [0,8 ; 3,6]	10 [0 ; 10]	0,5 [0,2 ; 0,7]	0,4 [0,1 ; 0,7]	-	-	-
Vallée de l'Oise et des trois forêts	-	1,2 [0,4 ; 2]	1 [0,4 ; 1,6]	-	-	-	-	-	-
Vexin Centre	-	0,3 [0,1 ; 0,4]	0,2 [0,1 ; 0,4]	-	-	-	-	-	-
Vexin Val de Seine	-	0 [0 ; 0,1]	0 [0 ; 0,1]	-	-	-	-	-	-
Roissy Pays de France	40 [20 ; 70]	2,6 [0,9 ; 4,1]	2,4 [0,9 ; 3,9]	10 [0 ; 10]	0,5 [0,2 ; 0,8]	0,5 [0,2 ; 0,7]	-	-	-

Intercommunalités	OMS (10 µg/m³)			Cible 2 (20 µg/m³)			Cible 3 (30 µg/m³)		
	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)
Bassée-Montois	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Brie des Rivières et Châteaux	-	0,2 [0,1 ; 0,3]	0,1 [0 ; 0,2]	-	-	-	-	-	-
Coulommiers Pays de Brie	-	0,1 [0 ; 0,1]	0,1 [0 ; 0,1]	-	-	-	-	-	-
Deux Morin	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gâtinais Val-de-Loing	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La Brie Nangissienne	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Les Portes briardes entre Villes et Forêts	-	0,7 [0,2 ; 1,1]	0,6 [0,2 ; 0,9]	-	-	-	-	-	-
L'Orée de la Brie	-	1,3 [0,5 ; 2,1]	1 [0,4 ; 1,6]	-	0 [0 ; 0,1]	-	-	-	-
Marne et Gondoire	10 [0 ; 10]	1,5 [0,5 ; 2,4]	1,2 [0,4 ; 1,9]	-	0,1 [0 ; 0,1]	0,1 [0 ; 0,1]	-	-	-
Melun Val de Seine	10 [0 ; 20]	1,4 [0,5 ; 2,3]	1,3 [0,5 ; 2,1]	-	0,1 [0 ; 0,2]	0,1 [0 ; 0,2]	-	-	-
Moret Seine & Loing	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Paris Vallée de la Marne	20 [10 ; 40]	2,2 [0,8 ; 3,5]	1,9 [0,7 ; 3]	-	0,2 [0,1 ; 0,3]	0,2 [0,1 ; 0,3]	-	-	-
Pays de Fontainebleau	-	0,2 [0,1 ; 0,2]	0,1 [0 ; 0,2]	-	-	-	-	-	-
Pays de l'Ourcq	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pays de Meaux	-	0,5 [0,2 ; 0,8]	0,5 [0,2 ; 0,8]	-	-	-	-	-	-
Pays de Montereau	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pays de Nemours	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Plaines & Monts de France	-	0,9 [0,3 ; 1,5]	0,8 [0,3 ; 1,2]	-	0 [0 ; 0,1]	-	-	-	-
Provinois	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Val briard	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Val d'Europe Agglomération	-	0,8 [0,3 ; 1,2]	0,7 [0,2 ; 1,1]	-	-	-	-	-	-
Grand Paris Sud Seine Essonne Sénart	30 [10 ; 50]	2,3 [0,8 ; 3,6]	2 [0,7 ; 3,1]	10 [0 ; 10]	0,4 [0,1 ; 0,7]	0,4 [0,1 ; 0,6]	-	-	-
Cœur d'Essonne Agglomération	30 [10 ; 50]	3,2 [1,1 ; 5]	2,7 [1 ; 4,3]	10 [0 ; 20]	1 [0,3 ; 1,5]	0,8 [0,3 ; 1,3]	-	0 [0 ; 0,1]	0 [0 ; 0,1]
Communauté Paris Saclay	60 [20 ; 90]	3,5 [1,2 ; 5,5]	2,8 [1 ; 4,4]	20 [10 ; 40]	1,4 [0,5 ; 2,1]	1,1 [0,4 ; 1,7]	-	0,2 [0,1 ; 0,3]	0,2 [0,1 ; 0,3]
Deux Vallées	-	0,1 [0 ; 0,1]	0,1 [0 ; 0,1]	-	-	-	-	-	-
Dourdannais en Hurepoix	-	0,7 [0,2 ; 1,1]	0,6 [0,2 ; 0,9]	-	-	-	-	-	-

Intercommunalités	OMS (10 µg/m³)			Cible 2 (20 µg/m³)			Cible 3 (30 µg/m³)		
	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)
Entre Juine et Renarde	-	1,2 [0,4 ; 1,9]	1 [0,4 ; 1,6]	-	-	-	-	-	-
L'Etampois Sud Essonne	-	0,3 [0,1 ; 0,5]	0,3 [0,1 ; 0,4]	-	-	-	-	-	-
Pays de Limours	-	1,6 [0,6 ; 2,6]	1,1 [0,4 ; 1,8]	-	0 [0 ; 0,1]	-	-	-	-
Val d'Essonne	0 [0 ; 10]	1,2 [0,4 ; 2]	1 [0,3 ; 1,5]	-	-	-	-	-	-
Val d'Yerres Val de Seine	30 [10 ; 40]	2,3 [0,8 ; 3,6]	2 [0,7 ; 3,1]	-	0,3 [0,1 ; 0,5]	0,3 [0,1 ; 0,4]	-	-	-
Cœur d'Yvelines	-	0,3 [0,1 ; 0,5]	0,2 [0,1 ; 0,4]	-	-	-	-	-	-
Gally Mauldre	-	0,7 [0,2 ; 1,1]	0,5 [0,2 ; 0,7]	-	-	-	-	-	-
Grand Paris Seine & Oise	30 [10 ; 50]	1,3 [0,4 ; 2]	1,1 [0,4 ; 1,8]	-	-	-	-	-	-
Haute vallée de Chevreuse	-	0,9 [0,3 ; 1,4]	0,7 [0,2 ; 1,1]	-	-	-	-	-	-
Les Portes de l'Île-de-France	-	0,3 [0,1 ; 0,5]	0,3 [0,1 ; 0,5]	-	-	-	-	-	-
Pays Houdanais	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rambouillet Territoires	-	0,3 [0,1 ; 0,5]	0,3 [0,1 ; 0,4]	-	-	-	-	-	-
Saint-Germain Boucles de Seine	60 [20 ; 90]	2,6 [0,9 ; 4,2]	2,1 [0,7 ; 3,3]	10 [0 ; 20]	0,5 [0,2 ; 0,8]	0,4 [0,1 ; 0,7]	-	-	-
Saint-Quentin-en-Yvelines	10 [0 ; 20]	1,2 [0,4 ; 1,9]	1 [0,4 ; 1,6]	-	0 [0 ; 0,1]	-	-	-	-
Versailles Grand Parc	40 [10 ; 60]	2,6 [0,9 ; 4,1]	2 [0,7 ; 3,1]	10 [0 ; 10]	0,5 [0,2 ; 0,7]	0,4 [0,1 ; 0,6]	-	-	-

Tableau 24 : Nombre et part de décès évitables dans la population des plus de 30 ans selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels d'ozone pour chaque intercommunalités

Intercommunalités	OMS (60 µg/m³)			Cible 2 (70 µg/m³)		
	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)
Paris (T1)	280 [0 ; 540]	2,1 [0 ; 4,2]	1,9 [0 ; 3,7]	150 [0 ; 290]	1,1 [0 ; 2,2]	1 [0 ; 2]
Vallée Sud Grand Paris (T2)	60 [0 ; 120]	2,5 [0 ; 4,9]	2,1 [0 ; 4,1]	40 [0 ; 70]	1,5 [0 ; 3]	1,3 [0 ; 2,5]
Grand Paris Seine Ouest (T3)	40 [0 ; 90]	2,3 [0 ; 4,5]	1,9 [0 ; 3,7]	20 [0 ; 50]	1,3 [0 ; 2,6]	1,1 [0 ; 2,1]
Paris Ouest La Défense (T4)	70 [0 ; 140]	2,2 [0 ; 4,3]	1,9 [0 ; 3,7]	40 [0 ; 80]	1,2 [0 ; 2,4]	1 [0 ; 2,1]
Boucle Nord de Seine (T5)	60 [0 ; 110]	2,3 [0 ; 4,5]	2,1 [0 ; 4,2]	30 [0 ; 60]	1,3 [0 ; 2,6]	1,2 [0 ; 2,4]
Plaine Commune (T6)	50 [0 ; 90]	2,4 [0 ; 4,8]	2,5 [0 ; 4,9]	30 [0 ; 60]	1,5 [0 ; 2,9]	1,5 [0 ; 2,9]
Paris Terres d'Envol (T7)	50 [0 ; 90]	2,6 [0 ; 5]	2,5 [0 ; 4,9]	30 [0 ; 60]	1,6 [0 ; 3,1]	1,5 [0 ; 3,1]
Est ensemble (T8)	50 [0 ; 100]	2,3 [0 ; 4,5]	2,2 [0 ; 4,4]	30 [0 ; 60]	1,3 [0 ; 2,5]	1,3 [0 ; 2,5]
Grand Paris - Grand Est (T9)	50 [0 ; 100]	2,5 [0 ; 4,9]	2,3 [0 ; 4,5]	30 [0 ; 60]	1,5 [0 ; 3]	1,4 [0 ; 2,7]
Paris Est Marne et Bois (T10)	70 [0 ; 140]	2,3 [0 ; 4,5]	2 [0 ; 3,9]	40 [0 ; 80]	1,3 [0 ; 2,6]	1,1 [0 ; 2,2]
Grand Paris Sud Est Avenir (T11)	40 [0 ; 80]	2,4 [0 ; 4,8]	2,2 [0 ; 4,4]	20 [0 ; 50]	1,4 [0 ; 2,8]	1,3 [0 ; 2,6]
Grand-Orly Seine Bièvre (T12)	100 [0 ; 190]	2,5 [0 ; 4,8]	2,3 [0 ; 4,6]	60 [0 ; 120]	1,5 [0 ; 2,9]	1,4 [0 ; 2,8]
Carnelle Pays de France	10 [0 ; 10]	3 [0 ; 5,9]	2,5 [0 ; 4,9]	0 [0 ; 10]	2 [0 ; 4]	1,7 [0 ; 3,3]
Cergy-Pontoise	20 [0 ; 40]	2,7 [0 ; 5,3]	2,5 [0 ; 4,8]	10 [0 ; 30]	1,7 [0 ; 3,4]	1,6 [0 ; 3,1]
Haut-Val-d'Oise	10 [0 ; 10]	2,9 [0 ; 5,8]	3 [0 ; 5,9]	0 [0 ; 10]	2 [0 ; 3,9]	2 [0 ; 3,9]
Plaine Vallée	30 [0 ; 60]	2,7 [0 ; 5,4]	2,4 [0 ; 4,7]	20 [0 ; 40]	1,8 [0 ; 3,5]	1,5 [0 ; 3]
Sausseron Impressionnistes	0 [0 ; 10]	2,8 [0 ; 5,5]	2,4 [0 ; 4,7]	-	1,9 [0 ; 3,7]	1,5 [0 ; 3,1]
Val Parisis	40 [0 ; 80]	2,6 [0 ; 5,1]	2,3 [0 ; 4,4]	30 [0 ; 50]	1,6 [0 ; 3,2]	1,4 [0 ; 2,8]
Vallée de l'Oise et des trois forêts	10 [0 ; 10]	2,9 [0 ; 5,6]	2,4 [0 ; 4,7]	0 [0 ; 10]	1,9 [0 ; 3,7]	1,6 [0 ; 3,1]
Vexin Centre	0 [0 ; 10]	2,8 [0 ; 5,6]	2,5 [0 ; 4,9]	0 [0 ; 10]	1,9 [0 ; 3,7]	1,6 [0 ; 3,2]
Vexin Val de Seine	0 [0 ; 10]	2,8 [0 ; 5,4]	2,4 [0 ; 4,7]	-	1,8 [0 ; 3,5]	1,6 [0 ; 3,1]
Roissy Pays de France	50 [0 ; 100]	2,8 [0 ; 5,5]	2,6 [0 ; 5,1]	30 [0 ; 60]	1,8 [0 ; 3,6]	1,7 [0 ; 3,3]
Bassée-Montois	10 [0 ; 10]	2,9 [0 ; 5,6]	2,7 [0 ; 5,3]	0 [0 ; 10]	1,9 [0 ; 3,7]	1,8 [0 ; 3,5]
Brie des Rivières et Châteaux	10 [0 ; 10]	2,7 [0 ; 5,2]	2,3 [0 ; 4,5]	0 [0 ; 10]	1,7 [0 ; 3,4]	1,4 [0 ; 2,8]
Coulommiers Pays de Brie	20 [0 ; 40]	2,7 [0 ; 5,3]	2,4 [0 ; 4,8]	10 [0 ; 20]	1,7 [0 ; 3,4]	1,5 [0 ; 3,1]

Intercommunalités	OMS (60 µg/m³)			Cible 2 (70 µg/m³)		
	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)
Deux Morin	10 [0 ; 10]	2,7 [0 ; 5,4]	2,5 [0 ; 4,9]	0 [0 ; 10]	1,8 [0 ; 3,5]	1,6 [0 ; 3,2]
Gâtinais Val-de-Loing	10 [0 ; 10]	3,1 [0 ; 6]	2,7 [0 ; 5,3]	0 [0 ; 10]	2,1 [0 ; 4,1]	1,8 [0 ; 3,7]
Grand Paris Sud Seine Essonne Sénart	40 [0 ; 80]	2,6 [0 ; 5,2]	2,5 [0 ; 4,9]	20 [0 ; 50]	1,7 [0 ; 3,3]	1,6 [0 ; 3,1]
La Brie Nangissienne	0 [0 ; 10]	2,7 [0 ; 5,2]	2,3 [0 ; 4,6]	-	1,7 [0 ; 3,3]	1,5 [0 ; 2,9]
Les Portes briardes entre Villes et Forêts	10 [0 ; 10]	2,7 [0 ; 5,4]	2 [0 ; 4]	0 [0 ; 10]	1,8 [0 ; 3,5]	1,3 [0 ; 2,5]
L'Etampois Sud Essonne	10 [0 ; 20]	3 [0 ; 5,9]	2,2 [0 ; 4,3]	10 [0 ; 10]	2 [0 ; 4]	1,4 [0 ; 2,8]
L'Orée de la Brie	0 [0 ; 10]	2,7 [0 ; 5,2]	2,4 [0 ; 4,7]	-	1,7 [0 ; 3,3]	1,5 [0 ; 3]
Marne et Gondoire	10 [0 ; 20]	2,7 [0 ; 5,4]	2,5 [0 ; 4,9]	10 [0 ; 20]	1,8 [0 ; 3,5]	1,6 [0 ; 3,3]
Melun Val de Seine	20 [0 ; 40]	2,6 [0 ; 5,2]	2,3 [0 ; 4,5]	10 [0 ; 30]	1,7 [0 ; 3,3]	1,4 [0 ; 2,9]
Moret Seine & Loing	10 [0 ; 20]	2,9 [0 ; 5,7]	2,3 [0 ; 4,6]	10 [0 ; 10]	1,9 [0 ; 3,8]	1,5 [0 ; 3]
Paris Vallée de la Marne	30 [0 ; 60]	2,7 [0 ; 5,2]	2,9 [0 ; 5,7]	20 [0 ; 40]	1,7 [0 ; 3,3]	1,9 [0 ; 3,7]
Pays de Fontainebleau	20 [0 ; 30]	2,8 [0 ; 5,5]	2,7 [0 ; 5,3]	10 [0 ; 20]	1,8 [0 ; 3,6]	1,8 [0 ; 3,5]
Pays de l'Ourcq	0 [0 ; 10]	2,8 [0 ; 5,6]	2,7 [0 ; 5,4]	-	1,9 [0 ; 3,7]	1,8 [0 ; 3,6]
Pays de Meaux	20 [0 ; 30]	2,8 [0 ; 5,4]	2,8 [0 ; 5,6]	10 [0 ; 20]	1,8 [0 ; 3,6]	1,9 [0 ; 3,8]
Pays de Montereau	10 [0 ; 20]	2,9 [0 ; 5,7]	2,4 [0 ; 4,7]	10 [0 ; 10]	1,9 [0 ; 3,8]	1,5 [0 ; 3,1]
Pays de Nemours	10 [0 ; 20]	3 [0 ; 5,9]	2,5 [0 ; 5]	10 [0 ; 10]	2 [0 ; 4]	1,6 [0 ; 3,2]
Plaines & Monts de France	0 [0 ; 10]	2,8 [0 ; 5,5]	2,1 [0 ; 4,2]	-	1,8 [0 ; 3,6]	1,4 [0 ; 2,7]
Provenois	10 [0 ; 20]	2,7 [0 ; 5,3]	2,4 [0 ; 4,8]	0 [0 ; 10]	1,8 [0 ; 3,5]	1,6 [0 ; 3,1]
Val briard	0 [0 ; 10]	2,7 [0 ; 5,3]	2,3 [0 ; 4,5]	0 [0 ; 10]	1,7 [0 ; 3,4]	1,5 [0 ; 2,9]
Val d'Europe Agglomération	0 [0 ; 10]	2,7 [0 ; 5,3]	2,5 [0 ; 5]	0 [0 ; 10]	1,7 [0 ; 3,4]	1,7 [0 ; 3,3]
Cœur d'Essonne Agglomération	30 [0 ; 60]	2,9 [0 ; 5,7]	2,3 [0 ; 4,5]	20 [0 ; 40]	1,9 [0 ; 3,8]	1,5 [0 ; 3]
Communauté Paris Saclay	50 [0 ; 90]	2,8 [0 ; 5,6]	2,6 [0 ; 5,1]	30 [0 ; 60]	1,9 [0 ; 3,7]	1,7 [0 ; 3,4]
Deux Vallées	0 [0 ; 10]	2,9 [0 ; 5,7]	2,6 [0 ; 5,1]	0 [0 ; 10]	1,9 [0 ; 3,8]	1,8 [0 ; 3,5]
Dourdannais en Hurepoix	10 [0 ; 10]	3,1 [0 ; 6]	2,6 [0 ; 5,1]	0 [0 ; 10]	2,1 [0 ; 4,1]	1,8 [0 ; 3,5]
Entre Juine et Renarde	0 [0 ; 10]	3,1 [0 ; 6]	2,8 [0 ; 5,4]	0 [0 ; 10]	2,1 [0 ; 4,1]	1,9 [0 ; 3,7]
Pays de Limours	0 [0 ; 10]	3 [0 ; 6]	2,2 [0 ; 4,2]	0 [0 ; 10]	2,1 [0 ; 4,1]	1,5 [0 ; 2,9]
Val d'Essonne	10 [0 ; 20]	2,9 [0 ; 5,7]	2,2 [0 ; 4,4]	10 [0 ; 10]	1,9 [0 ; 3,8]	1,5 [0 ; 2,9]

Intercommunalités	OMS (60 µg/m ³)			Cible 2 (70 µg/m ³)		
	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)
Val d'Yvelles Val de Seine	30 [0 ; 60]	2,6 [0 ; 5]	2,2 [0 ; 4,4]	20 [0 ; 40]	1,6 [0 ; 3,1]	1,4 [0 ; 2,7]
Cœur d'Yvelines	10 [0 ; 20]	2,6 [0 ; 5,1]	1,9 [0 ; 3,7]	10 [0 ; 10]	1,6 [0 ; 3,2]	1,2 [0 ; 2,3]
Gally Mauldre	-	2,5 [0 ; 4,9]	1,7 [0 ; 3,3]	-	1,5 [0 ; 3]	1 [0 ; 2]
Grand Paris Seine & Oise	60 [0 ; 120]	2,5 [0 ; 5]	2,2 [0 ; 4,4]	40 [0 ; 70]	1,6 [0 ; 3,1]	1,4 [0 ; 2,7]
Haute vallée de Chevreuse	10 [0 ; 10]	2,8 [0 ; 5,5]	2 [0 ; 4]	0 [0 ; 10]	1,8 [0 ; 3,6]	1,3 [0 ; 2,6]
Les Portes de l'Île-de-France	0 [0 ; 10]	2,6 [0 ; 5,1]	2,6 [0 ; 5,1]	-	1,6 [0 ; 3,2]	1,6 [0 ; 3,2]
Pays Houdanais	0 [0 ; 10]	2,7 [0 ; 5,2]	2,3 [0 ; 4,5]	0 [0 ; 10]	1,7 [0 ; 3,3]	1,5 [0 ; 2,9]
Rambouillet Territoires	10 [0 ; 30]	2,8 [0 ; 5,5]	2,3 [0 ; 4,6]	10 [0 ; 20]	1,8 [0 ; 3,6]	1,5 [0 ; 3]
Saint-Germain Boucles de Seine	50 [0 ; 100]	2,3 [0 ; 4,6]	1,9 [0 ; 3,7]	30 [0 ; 60]	1,4 [0 ; 2,7]	1,1 [0 ; 2,1]
Saint-Quentin-en-Yvelines	20 [0 ; 40]	2,5 [0 ; 4,9]	2,1 [0 ; 4,2]	10 [0 ; 30]	1,5 [0 ; 3]	1,3 [0 ; 2,6]
Versailles Grand Parc	40 [0 ; 70]	2,3 [0 ; 4,5]	1,8 [0 ; 3,5]	20 [0 ; 40]	1,3 [0 ; 2,6]	1 [0 ; 2]

Annexe 5 : Estimations d'impact pour les scénarios OMS et cibles intermédiaires pour la Métropole du Grand Paris et communes de la ZFE-m

Cette annexe présente les estimations d'impact au sein de la Métropole du Grand Paris, une estimation globale incluant la ville de Paris avec une mise en regard de l'impact estimé à Paris (chiffres identiques à ceux précédemment présentés) ainsi que l'impact au sein du périmètre resserré de la zone à faibles émissions mobilité (ZFE-m), plus large que Paris mais qui ne comprend qu'une partie des communes de la Métropole. La liste des communes concernées est présentée ci-après (Tableau 25).

Tableau 25 : Liste des communes appartenant à la ZFE-m au 1^{er} janvier 2022

Code Insee	Nom	Code Insee	Nom	Code Insee	Nom
75056	Paris	92060	Le Plessis-Robinson	93070	Saint-Ouen-sur-Seine
92002	Antony	92062	Puteaux	94002	Alfortville
92004	Asnières-sur-Seine	92063	Rueil-Malmaison	94003	Arcueil
92007	Bagneux	92064	Saint-Cloud	94016	Cachan
92009	Bois-Colombes	92071	Sceaux	94017	Champigny-sur-Marne
92012	Boulogne-Billancourt	92072	Sèvres	94018	Charenton-le-Pont
92014	Bourg-la-Reine	92073	Suresnes	94021	Chevilly-Larue
92019	Châtenay-Malabry	92075	Vanves	94022	Choisy-le-Roi
92020	Châtillon	92076	Vaucresson	94028	Créteil
92022	Chaville	92077	Ville-d'Avray	94033	Fontenay-sous-Bois
92023	Clamart	92078	Villeneuve-la-Garenne	94034	Fresnes
92024	Clichy	93001	Aubervilliers	94037	Gentilly
92025	Colombes	93006	Bagnolet	94038	L'Hay-les-Roses
92026	Courbevoie	93008	Bobigny	94041	Ivry-sur-Seine
92032	Fontenay-aux-Roses	93010	Bondy	94042	Joinville-le-Pont
92033	Garches	93027	La Courneuve	94043	Le Kremlin-Bicêtre
92035	La Garenne-Colombes	93029	Drancy	94046	Maisons-Alfort
92036	Gennevilliers	93039	L'Île-Saint-Denis	94052	Nogent-sur-Marne
92040	Issy-les-Moulineaux	93045	Les Lilas	94065	Rungis
92044	Levallois-Perret	93048	Montreuil	94067	Saint-Mandé
92046	Malakoff	93053	Noisy-le-Sec	94069	Saint-Maurice
92047	Marnes-la-Coquette	93055	Pantin	94073	Thiais
92048	Meudon	93061	Le Pré-Saint-Gervais	94076	Villejuif
92049	Montrouge	93063	Romainville	94080	Vincennes
92050	Nanterre	93064	Rosny-sous-Bois	94081	Vitry-sur-Seine
92051	Neuilly-sur-Seine	93066	Saint-Denis		

Tableau 26 : Nombre et part de décès évitables dans la population des plus de 30 ans selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de PM_{2,5}

Territoires	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)
Cible 4 (10 µg/m³)			
Paris	660 [230 ; 1 030]	5 [1,8 ; 7,9]	4,5 [1,6 ; 7,2]
Communes appartenant à la ZFE-m	1 300 [460 ; 2 050]	4 [1,4 ; 6,3]	3,8 [1,3 ; 6]
Métropole du Grand Paris	1 500 [530 ; 2 360]	3,7 [1,3 ; 5,9]	3,5 [1,3 ; 5,6]
OMS (5 µg/m³)			
Paris	1 500 [540 ; 2 300]	11,4 [4,1 ; 17,6]	10,4 [3,7 ; 16,2]
Communes appartenant à la ZFE-m	3 400 [1 230 ; 5 250]	10,5 [3,8 ; 16,2]	9,7 [3,5 ; 15,2]
Métropole du Grand Paris	4 120 [1 490 ; 6 360]	10,2 [3,7 ; 15,8]	9,5 [3,4 ; 14,9]

Note : ces chiffres ne s'additionnent pas, Paris étant compté dans le périmètre ZFE-m, lui-même inclus dans la Métropole du Grand Paris.

Tableau 27 : Nombre et part de décès évitables dans la population des plus de 30 ans selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels de NO₂

Territoires	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)
Cible 3 (30 µg/m³)			
Paris	130 [40 ; 200]	1 [0,3 ; 1,5]	0,9 [0,3 ; 1,4]
Communes appartenant à la ZFE-m	210 [80 ; 340]	0,7 [0,2 ; 1]	0,7 [0,2 ; 1]
Métropole du Grand Paris	220 [80 ; 350]	0,6 [0,2 ; 0,9]	0,6 [0,2 ; 0,9]
Cible 2 (20 µg/m³)			
Paris	420 [150 ; 660]	3,2 [1,1 ; 5]	2,9 [1 ; 4,6]
Communes appartenant à la ZFE-m	860 [300 ; 1 360]	2,7 [0,9 ; 4,2]	2,5 [0,9 ; 3,9]
Métropole du Grand Paris	970 [340 ; 1540]	2,4 [0,9 ; 3,8]	2,3 [0,8 ; 3,7]
OMS (10 µg/m³)			
Paris	700 [250 ; 1 100]	5,4 [1,9 ; 8,4]	4,8 [1,7 ; 7,6]
Communes appartenant à la ZFE-m	1 570 [560 ; 2 470]	4,9 [1,7 ; 7,6]	4,5 [1,6 ; 7]
Métropole du Grand Paris	1 850 [660 ; 2 920]	4,6 [1,6 ; 7,2]	4,3 [1,5 ; 6,8]

Note : ces chiffres ne s'additionnent pas, Paris étant compté dans le périmètre ZFE-m, lui-même inclus dans la Métropole du Grand Paris.

Tableau 28 : Nombre et part de décès évitables selon différents scénarios de réduction des niveaux actuels d'O₃

Territoires	Nombre	Part (en %)	Gain en espérance de vie (en mois)
Cible 2 (70 µg/m³)			
Paris	150 [0 ; 290]	1,1 [0 ; 2,2]	1 [0 ; 2]
Communes appartenant à la ZFE-m	410 [0 ; 800]	1,3 [0 ; 2,5]	1,1 [0 ; 2,2]
Métropole du Grand Paris	530 [0 ; 1 040]	1,3 [0 ; 2,6]	1,2 [0 ; 2,3]
OMS (60 µg/m³)			
Paris	280 [0 ; 540]	2,1 [0 ; 4,2]	1,9 [0 ; 3,7]
Communes appartenant à la ZFE-m	720 [0 ; 1420]	2,2 [0 ; 4,4]	2 [0 ; 3,9]
Métropole du Grand Paris	920 [0 ; 1810]	2,3 [0 ; 4,5]	2,1 [0 ; 4,1]

Note : ces chiffres ne s'additionnent pas, Paris étant compté dans le périmètre ZFE-m, lui-même inclus dans la Métropole du Grand Paris.

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

ACP : analyse en composante principale
ARS : Agence régionale de santé
CépiDC : Centre d'épidémiologie sur les causes médicales décès
CNAM-TS : Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés
COV : composé organique volatil
COVNM : composé organique volatil non méthanique
Covid-19 : Maladie à coronavirus 2019
Drieat : Direction régionale et interdépartementale de l'Environnement, de l'Aménagement et des Transports
EPCI : Établissement public de coopération intercommunale
EPT : Établissement public territorial
EQIS : Évaluation quantitative d'impact sur la santé
EQIS-PA : Évaluation quantitative d'impact sur la santé de la pollution atmosphérique
Erpurs : Évaluation des risques de la pollution urbaine sur la santé
ESCAPE : European Study of Cohorts for Air Pollution Effects
FA : Fraction attribuable
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
MGP : Métropole du Grand Paris
Mos : Mode d'occupation des sols
NO₂ : Dioxyde d'azote
O₃ : ozone
OMS : Organisation mondiale de la santé
ORS : Observatoire régional de santé
PCAET : Plan climat air énergie territorial
PM₁₀ : Particulate matter (diamètre aérodynamique ≤ 10 µm)
PM_{2,5} : Particulate matter (diamètre aérodynamique ≤ 2,5 µm)
PPA : Plan de protection de l'atmosphère
RIL : répertoire d'immeubles localisés
RP : Recensement de la population
RR : Risque relatif
TUU : Tranche d'unité urbaine
WHO : World Health Organization
ZFE-m : Zone à faibles émissions mobilité

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Blanchard M, Host S, Medina S. Guide pour la réalisation d'une évaluation quantitative des impacts sur la santé (EQIS). EQIS d'une intervention. Santé publique France; 2019.
- [2] Pascal M, Yvon J-M, Medina S, Blanchard M, Corso M, Host S, et al. Pollution atmosphérique. Guide pour la réalisation d'une évaluation quantitative des impacts sur la santé (EQIS). EQIS avec une exposition modélisée. Santé publique France; 2019.
- [3] Corso M, Lagarrigue R, Medina S, Blanchard M, Host S, Pascal M, et al. Pollution atmosphérique. Guide pour la réalisation d'une évaluation quantitative des impacts sur la santé (EQIS). EQIS avec une exposition mesurée. Santé publique France; 2019.
- [4] Host S, Karusisi N. Erpurs : 20 ans de surveillance et d'évaluation des risques de la pollution urbaine sur la santé. Bilan et perspectives. France: ORS Île-de-France; 2014.
- [5] Pascal M, de Crouy Chanel P, Wagner V, Corso M, Tillier C, Bentayeb M, et al. The mortality impacts of fine particles in France. *The Science of the Total Environment* 2016;571:416–25. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.213>.
- [6] Medina S, Adélaïde L, Wagner V, De Crouy-Chanel P, Real E, Colette A, et al. Impact de pollution de l'air ambiant sur la mortalité en France métropolitaine. Réduction en lien avec le confinement du printemps 2020 et nouvelles données sur le poids total pour la période 2016-2019. Saint-Maurice: Santé publique France; 2021.
- [7] Host S, Saunal A, Honoré C, Joly F, Le Tertre A, Medina S. 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.
- [8] Host S. Bénéfices sanitaires attendus d'une zone à faibles émissions métropolitaine. Évaluation quantitative d'impact sanitaire de trois scénarios. Paris: ORS Île-de-France; 2019.
- [9] Host S. Synthèse des études sur les impacts sanitaires, sociaux et économiques. ZFE-mobilité dans la Métropole du Grand Paris. Paris (France): APUR; 2021.
- [10] Host S, Honoré C, Joly F, Saunal A, Le Tertre A, Medina S. Implementation of various hypothetical low emission zone scenarios in Greater Paris: Assessment of fine-scale reduction in exposure and expected health benefits. 2020.
- [11] US EPA National Center for Environmental Assessment. Integrated science assessment for ozone and related photochemical oxidants. US EPA; 2020.
- [12] Pascal M, de Crouy Chanel P, Corso M, Medina S, Wagner V, Gorla S, et al. Impacts de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité en France continentale et analyse des gains en santé de plusieurs scénarios de réduction de la pollution atmosphérique. Saint-Maurice: Santé publique France; 2016.
- [13] World Health Organization. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021.
- [14] COMEAP. Associations of long-term average concentrations of nitrogen dioxide with mortality. 2018.
- [15] Huangfu P, Atkinson R. Long-term exposure to NO2 and O3 and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environment International* 2020;144:105998. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105998>.
- [16] Airparif. Bilan et impact du Covid en 2020 en Île-de-France. Paris: 2021.
- [17] 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: Haut Conseil de Santé Publique; 2013.
- [18] Rey G, Jouglé E, Fouillet A, Hemon D. 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* 2009;9:33. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-9-33>.

- [19] Rey G, Rican S, Jouglu E. Mesure des inégalités de mortalité par cause de décès - Approche écologique à l'aide d'un indice de désavantage social. *Bull Epidémiol Hebd* 2011;n°8-9:pp 87-90.
- [20] Chen J, Hoek G. Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environment International* 2020;143:105974. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105974>.
- [21] Host S, Colombier C. Pollution de l'air et Covid-19. *Revue des connaissances, impact des mesures de confinement et enjeux pour l'Île-de-France*. Paris (France): ORS Île-de-France; 2020.
- [22] Airparif. Emissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre. *Bilan Île-de-France - année 2018*. Paris (France): 2021.
- [23] Airparif. Respect des seuils réglementaires de qualité de l'air : gains d'émissions nécessaires et scénarios. Paris: 2022.
- [24] European Environment Agency. Air Pollution by Ozone across Europe during summer 2009, EEA Technical report 2. European Environment Agency; 2010.
- [25] European Environment Agency. The European Environment - State and Outlook 2010 : Air Pollution - SOER 2010 Thematic Assessment. European Environment Agency; 2010.
- [26] Colette A, Granier C, Hodnebrog Ø, Jakobs H, Maurizi A, Nyiri A, et al. Air quality trends in Europe over the past decade: a first multi-model assessment. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2011;11:11657–11678.
- [27] Guerreiro CBB, Foltescu V, de Leeuw F. Air quality status and trends in Europe. *Atmospheric Environment* 2014;98:376–84. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.09.017>.
- [28] Weber M, Coldewey-Egbers M, Fioletov VE, Frith SM, Wild JD, Burrows JP, et al. Total ozone trends from 1979 to 2016 derived from five merged observational datasets – the emergence into ozone recovery. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2018;18:2097–117. <https://doi.org/10.5194/acp-18-2097-2018>.
- [29] Lin M, Horowitz LW, Xie Y, Paulot F, Malyshev S, Shevliakova E, et al. Vegetation feedbacks during drought exacerbate ozone air pollution extremes in Europe. *Nat Clim Chang* 2020;10:444–51. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0743-y>.
- [30] European Topic Centre on Air pollution and Climate change Mitigation. *Modelled future change in surface summertime ozone concentrations*. 2015.
- [31] Colette A, Bessagnet B, Vautard R, Szopa S, Rao S, Schucht S, et al. European atmosphere in 2050, a regional air quality and climate perspective under CMIP5 scenarios. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2013;13:7451–71. <https://doi.org/10.5194/acp-13-7451-2013>.



Financé par



Observatoire régional de santé Île-de-France

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

Président : Dr Ludovic Toro - Directrice de la publication : Dr. Isabelle Grémy

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

ISBN 978-2-7371-2162-3