

# IMPACT DE LA 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

## POINTS CLÉS

- Les bénéfices des baisses de la pollution de l'air ambiant observées durant le premier confinement au printemps 2020 peuvent être estimés à environ 2 300 décès évités en lien avec une diminution de l'exposition de la population française aux particules, et à environ 1 200 décès évités en lien avec une diminution de l'exposition au dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>).
- Ces résultats constituent une nouvelle illustration confirmant que, dans un contexte inédit qui n'est certainement pas souhaitable pour améliorer la qualité de l'air à long terme, les mesures d'actions publiques apparaissent comme un levier efficace pour réduire les niveaux de pollution. Certains enseignements peuvent être déjà capitalisés en termes de mesures d'actions publiques ou de changements comportementaux (télétravail, report modal, etc.) qui vraisemblablement sont appelés à se pérenniser au sein de la société française.
- Dans une mise en perspective plus large et de long terme, chaque année près de 40 000 décès seraient attribuables à une exposition de la population aux particules fines (PM<sub>2,5</sub>), et 7 000 décès à une exposition de la population au NO<sub>2</sub>, représentant respectivement 7 % et 1 % de la mortalité totale annuelle.
- Cette étude rappelle que le fardeau ou poids total de la pollution de l'air sur la santé demeure un facteur de risque conséquent et toujours d'actualité en France. Les efforts de réduction de la pollution de l'air ambiant doivent être poursuivis durablement sur toutes les sources de pollution avec une transition adaptée mais néanmoins ambitieuse.

## POURQUOI UNE NOUVELLE ÉVALUATION QUANTITATIVE D'IMPACT SUR LA SANTÉ DE LA POLLUTION DE L'AIR AMBIANT ?

Afin de limiter la propagation du virus SARS-CoV-2 responsable de la pandémie de Covid-19, les autorités nationales ont pris, avec le confinement du printemps 2020, des mesures drastiques et totalement inédites. Ce confinement a conduit à un ralentissement massif de l'activité et des déplacements de la

population en France, entraînant des conséquences négatives pour la société et l'économie. Mais ces mesures ont aussi eu des conséquences positives, entraînant localement, par exemple, l'amélioration de la qualité de l'air ou la diminution du bruit en ville [1, 2].

Dans les principales agglomérations françaises, une étude d'Atmo France<sup>1</sup> a mis en évidence une

1. Étude réalisée par la fédération des associations agréées de surveillance de qualité de l'air (AASQA).

diminution des concentrations moyennes en oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) du 1<sup>er</sup> au 31 mars 2020, sur des stations de mesures représentatives de la pollution, due au trafic routier. L'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris) a pris en compte ces observations pour réaliser des modélisations au niveau national, et retrouve aussi des diminutions importantes des concentrations de  $\text{NO}_2$ , dont les sources sont principalement le trafic routier, et plus modérées pour les particules ( $\text{PM}_{10}$  et  $\text{PM}_{2,5}$ ) qui représentent un indicateur de la pollution de fond, dont les sources sont multiples. Ce constat indique que certaines sources d'émission comme le chauffage les jours froids au début de l'épidémie, ou les épandages agricoles printaniers n'ont pas été (ou peu) impactées par le confinement.

Avec ce travail, Santé publique France a eu la volonté d'étudier largement les conséquences de la crise sanitaire de la Covid-19 au-delà de la seule surveillance épidémiologique, afin, d'une part, de contribuer à la réflexion concernant la reprise des activités, et d'autre part de redonner sa place à la question de la pollution de l'air ambiant et ses conséquences à long terme sur la santé de la population.

## QUELS SONT LES OBJECTIFS DE CETTE ÉTUDE ?

Santé publique France a mené une nouvelle évaluation quantitative d'impact sur la santé (EQIS) de la pollution de l'air ambiant sur la mortalité en France métropolitaine. Cette étude vise d'une part, à déterminer si la diminution des niveaux de pollution de l'air ambiant, et donc la réduction de l'exposition de la population aux PM et au  $\text{NO}_2$ , liées à la diminution drastique des activités humaines pendant le confinement du printemps 2020, a eu un impact sur la mortalité. D'autre part, la pollution de l'air ambiant demeure un facteur de risque majeur pour la santé en France. De ce fait, une évaluation de son poids sur la mortalité à long terme a également été réalisée en France métropolitaine pour la période 2016-2019 afin d'actualiser les estimations produites pour la période 2007-2008 publiées en 2016 [3].

**L'étude a été réalisée dans le cadre du programme de surveillance Air et santé (Psas)** en collaboration avec l'Ineris, le Centre interprofessionnel technique d'études la pollution atmosphérique (Citepa), les associations agréées de surveillance de qualité de l'air (AASQA) et l'Observatoire régional de santé d'Ile-de-France.

## QUELS SONT LES PRINCIPAUX RÉSULTATS DE CETTE NOUVELLE ÉVALUATION ?

### Quels sont les impacts sur la mortalité de la baisse des concentrations de polluants de l'air ambiant occasionnée par le confinement du printemps 2020 ?

#### *Impact à court terme*

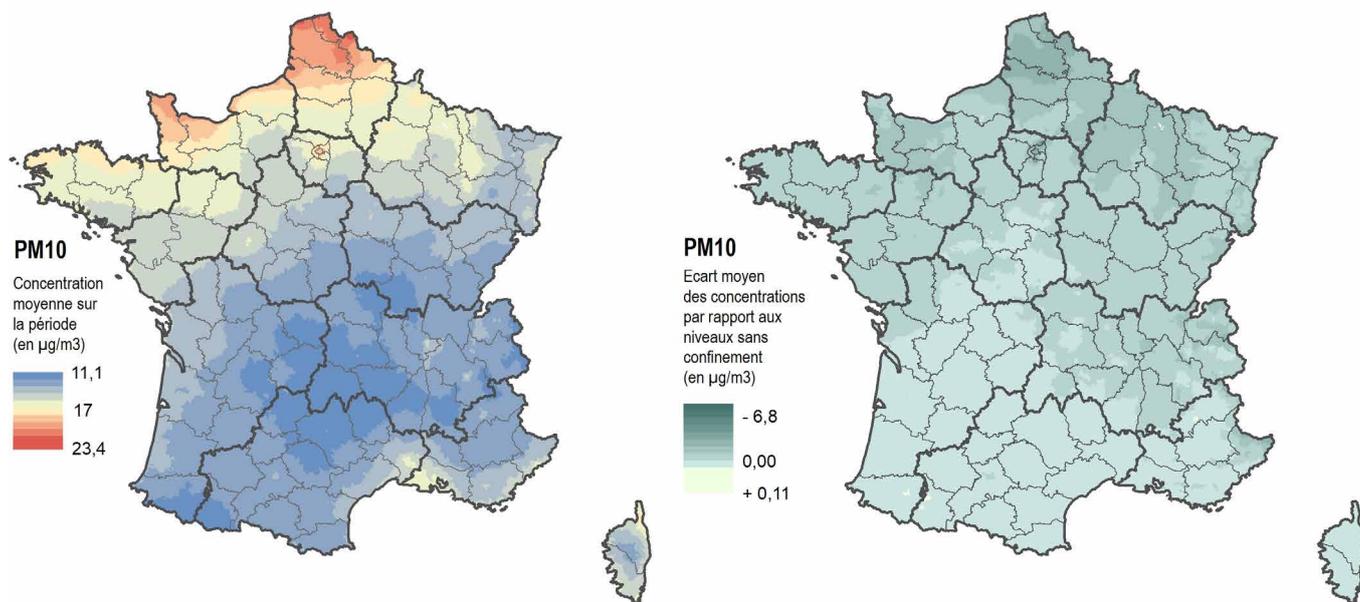
En moyenne, **pour la période du confinement strict (16 mars au 11 mai 2020)**, la différence entre le niveau estimé en  $\text{PM}_{10}$  et sa référence sans confinement variait entre  $-8,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et  $-0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  selon les communes. Pour le  $\text{NO}_2$ , cette différence variait entre  $-30,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et  $-0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pour ces deux polluants, la diminution est d'autant plus importante que le territoire est urbanisé (**Figure 1**). Sous ce scénario, à court terme, 243 décès auraient été évités grâce aux baisses de concentrations en  $\text{NO}_2$  et 61 décès grâce aux baisses de concentrations en  $\text{PM}_{10}$ , représentant respectivement 0,3 % et 0,08 % de la mortalité totale annuelle. Environ la moitié de ces décès évités se concentre dans les communes appartenant à une unité urbaine de plus de 100 000 habitants.

**La période de déconfinement progressif** (11 mai au 22 juin 2020) a été caractérisée par une baisse des concentrations en polluants moins importante que durant le confinement strict avec un gradient d'exposition rural / urbain toujours plus marqué pour le  $\text{NO}_2$  que pour les  $\text{PM}_{10}$ . Durant ce déconfinement progressif, 39 décès auraient été évités grâce aux baisses de concentrations en  $\text{NO}_2$  et 8 décès grâce aux baisses de concentrations en  $\text{PM}_{10}$ , représentant respectivement 0,1 % et 0,01 % de la mortalité totale annuelle. Environ la moitié des décès évités se concentre dans les communes appartenant à une unité urbaine de plus de 100 000 habitants.

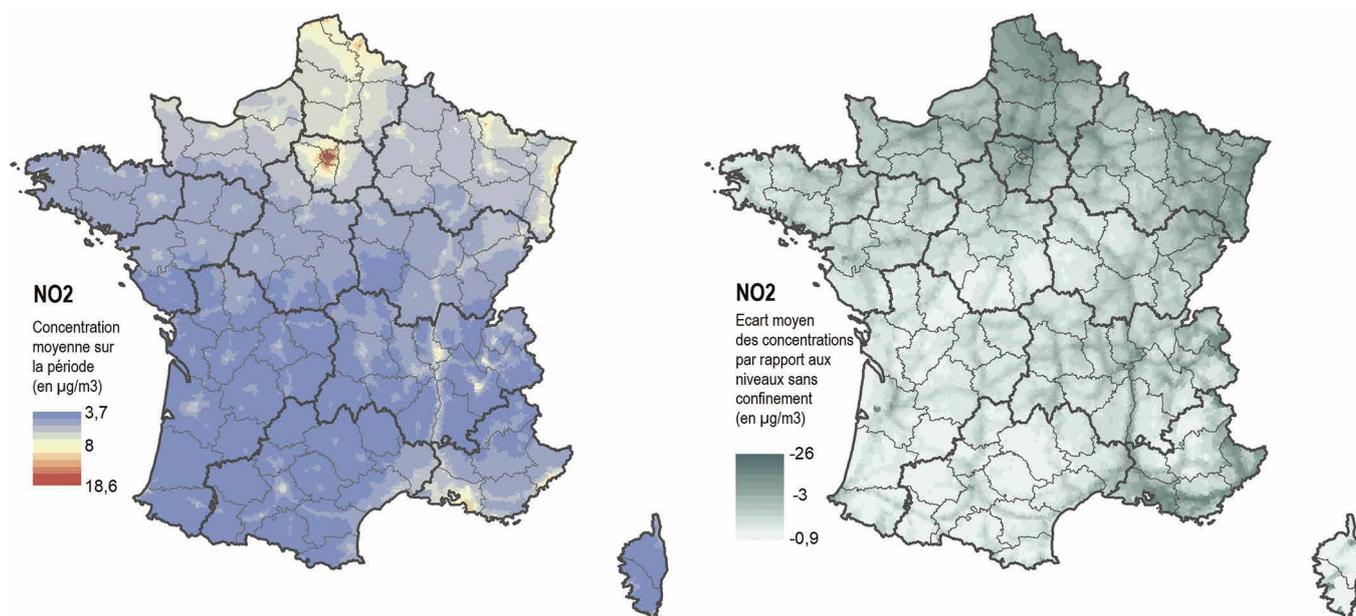
**Ainsi, à court terme**, les baisses des concentrations de  $\text{PM}_{10}$  et de  $\text{NO}_2$  estimées entre le 16 mars et le 22 juin 2020 auraient permis d'éviter respectivement de l'ordre de 70 et 280 décès associés à des effets à court-terme de la pollution de l'air ambiant (décompensation de pathologies préexistantes).

*Les estimations respectives des décès évités grâce aux diminutions de chaque indicateur de pollution ( $\text{NO}_2$  d'une part,  $\text{PM}_{10}$  d'autre part) ne peuvent être additionnées, car une partie de ces décès peut être attribuée à l'exposition conjointe à ces polluants.*

**FIGURE 1** | Distribution des concentrations moyennes de polluants (PM<sub>10</sub> et NO<sub>2</sub>) estimées pendant la période du confinement (à gauche) et écart moyen des concentrations estimées par rapport aux niveaux sans confinement (à droite)



Source : ADMIN-EXPRESS - Ign, 2018 ; Ineris, Chimère, données redressées tenant compte de la réduction des émissions pendant le confinement, Moyennes des concentrations sur la période du 16/03 au 22/06/2020. Santé publique France, 2020



Source : ADMIN-EXPRESS - Ign, 2018 ; Ineris, Chimère, données redressées tenant compte de la réduction des émissions pendant le confinement, Moyennes des concentrations sur la période du 16/03 au 22/06/2020. Santé publique France, 2020

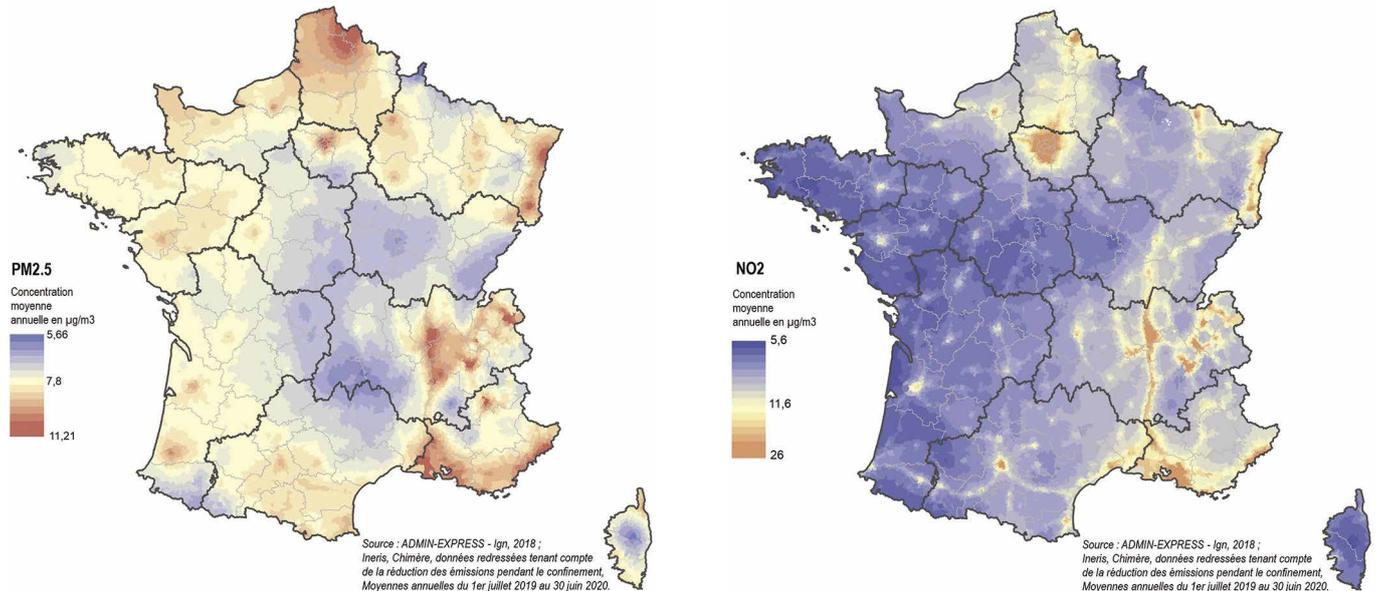
### Impact à plus long terme

En moyenne pour la période allant du 1<sup>er</sup> juillet 2019 au 30 juin 2020, la différence des niveaux moyens annuels en PM<sub>2,5</sub> en France métropolitaine a

varié entre -0,9 µg/m<sup>3</sup> et 0,01 µg/m<sup>3</sup> selon les communes. Pour le NO<sub>2</sub>, cette différence a varié entre -7,0 µg/m<sup>3</sup> et -0,04 µg/m<sup>3</sup> (Figure 2). Sous ce scénario, 2 274 décès auraient été évités grâce aux baisses de concentrations en PM<sub>2,5</sub>, et 893 décès

**FIGURE 2** | Distribution des concentrations moyennes de  $PM_{2,5}$  (à gauche) et  $NO_2$  (à droite) par commune sur la période du 1<sup>er</sup> juillet 2019 au 30 juin 2020

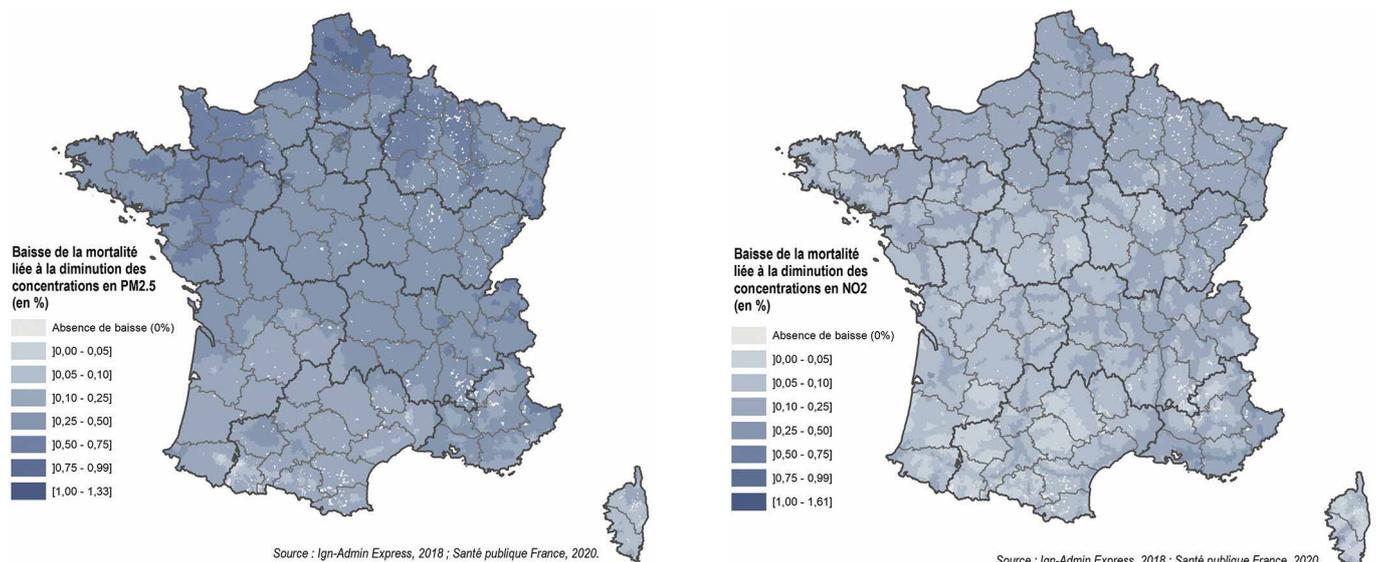
Modélisations CHIMERE, redressement des données tenant compte de la réduction des émissions pendant le confinement



grâce aux baisses de concentrations en  $NO_2$  en France métropolitaine, représentant respectivement 0,4 % et 0,2 % de la mortalité totale annuelle. Environ la moitié de ces décès se concentre dans les communes appartenant à une unité urbaine de plus de 100 000 habitants (Figure 3).

À noter de nouveau que les estimations respectives des décès évités grâce aux diminutions de chaque indicateur de pollution ne peuvent être intégralement additionnées, car une partie de ces décès peut être attribuée à l'exposition conjointe à ces deux polluants ( $NO_2$  et  $PM_{2,5}$ )

**FIGURE 3** | Impact de la diminution des concentrations en  $PM_{2,5}$  et  $NO_2$  sur la mortalité annuelle à l'échelle communale du 1<sup>er</sup> juillet 2019 au 30 juin 2020 en France métropolitaine (en %)



**Au total**, les bénéfices des baisses de la pollution de l'air ambiant observées durant le premier confinement au printemps 2020 peuvent être estimés à environ 2 300 décès évités en lien avec une diminution de l'exposition de la population française aux particules, et à environ 1 200 décès évités en lien avec une diminution de l'exposition de la population française au NO<sub>2</sub>.

Ces impacts sont majoritairement dus à des effets à plus long terme (diminution de la contribution de la pollution au développement de pathologies conduisant au décès), et dans une moindre mesure à des effets à court terme (décompensation de pathologies préexistantes).

### Quel a été le poids total à long terme sur la mortalité de la pollution de l'air ambiant entre 2016 et 2019 ?

Pour mettre en perspective les résultats des scénarios de baisse des concentrations en lien avec le confinement du printemps 2020, une EQIS concernant **le fardeau ou poids total à long terme de la pollution de l'air ambiant sur la mortalité** a été réalisée pour la période du 1<sup>er</sup> janvier 2016 au 31 décembre 2019 en France métropolitaine. Cette étude vise à actualiser les estimations publiées en 2016 par Santé publique France pour la période 2007-2008 [3].

Selon les communes, les concentrations moyennes annuelles de PM<sub>2,5</sub> pour la période d'étude variaient de

6,6 µg/m<sup>3</sup> à 14,4 µg/m<sup>3</sup>, et de 7,4 µg/m<sup>3</sup> à 34,3 µg/m<sup>3</sup> pour le NO<sub>2</sub> (Figures 4 et 5).

En considérant le même RR (1,15 [1,05-1,25]) et le même seuil de 5 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2,5</sub> comme référence pour une pollution d'origine anthropique (liée aux activités humaines) que ceux utilisés en 2016, et un seuil de 10 µg/m<sup>3</sup> pour le NO<sub>2</sub>, chaque année près de 40 000 décès seraient attribuables à une exposition de la population aux PM<sub>2,5</sub>, et 7 000 décès à une exposition de la population au NO<sub>2</sub>, représentant respectivement 7 % et 1 % de la mortalité totale annuelle (Figure 6). Cela représente en moyenne une perte d'espérance de vie de 7,6 mois en raison d'une exposition aux PM<sub>2,5</sub>, et de 1,6 mois en raison d'une exposition au NO<sub>2</sub> pour les personnes âgées de 30 ans et plus.

*Les estimations respectives attribuables à une exposition de la population à chaque indicateur de pollution ne sont pas additionnables intégralement, car une partie des décès peut être attribuée à l'exposition conjointe à ces deux polluants.*

Ces résultats peuvent être mis en perspective avec ceux publiés en 2016 estimant à 48 000 le nombre de décès par an attribuables à une exposition aux PM<sub>2,5</sub> de la population en France continentale pour la période 2007-2008 et obtenus avec des scénarios et RR identiques. Les différences entre les deux estimations peuvent s'expliquer en partie par une baisse de la pollution de l'air ambiant depuis 2007-2008 [18], et en partie par l'utilisation de modèles d'exposition différents plus cohérents et robustes pour les zones urbaines que pour les zones rurales.

### Interprétation des résultats

Dans l'interprétation des résultats de toutes les EQIS, les choix des modèles d'exposition, du seuil de référence de pollution anthropique et du RR impactent fortement les résultats. L'influence de ces choix est examinée en détail dans le rapport d'étude [19]. De plus, dans cette EQIS, il faut également prendre en compte la situation exceptionnelle créée par le confinement qui s'est traduite par une modification des conditions d'exposition de la population à la pollution de l'air ambiant, avec notamment une réduction de la mobilité, plus de temps passé dans les environnements intérieurs, des changements d'habitudes de vie et de comportements, des reports de recours aux soins. Notre analyse n'a pas permis de quantifier l'influence de ces facteurs exceptionnels, mais ils sont examinés qualitativement dans le rapport d'étude.

40 000 décès

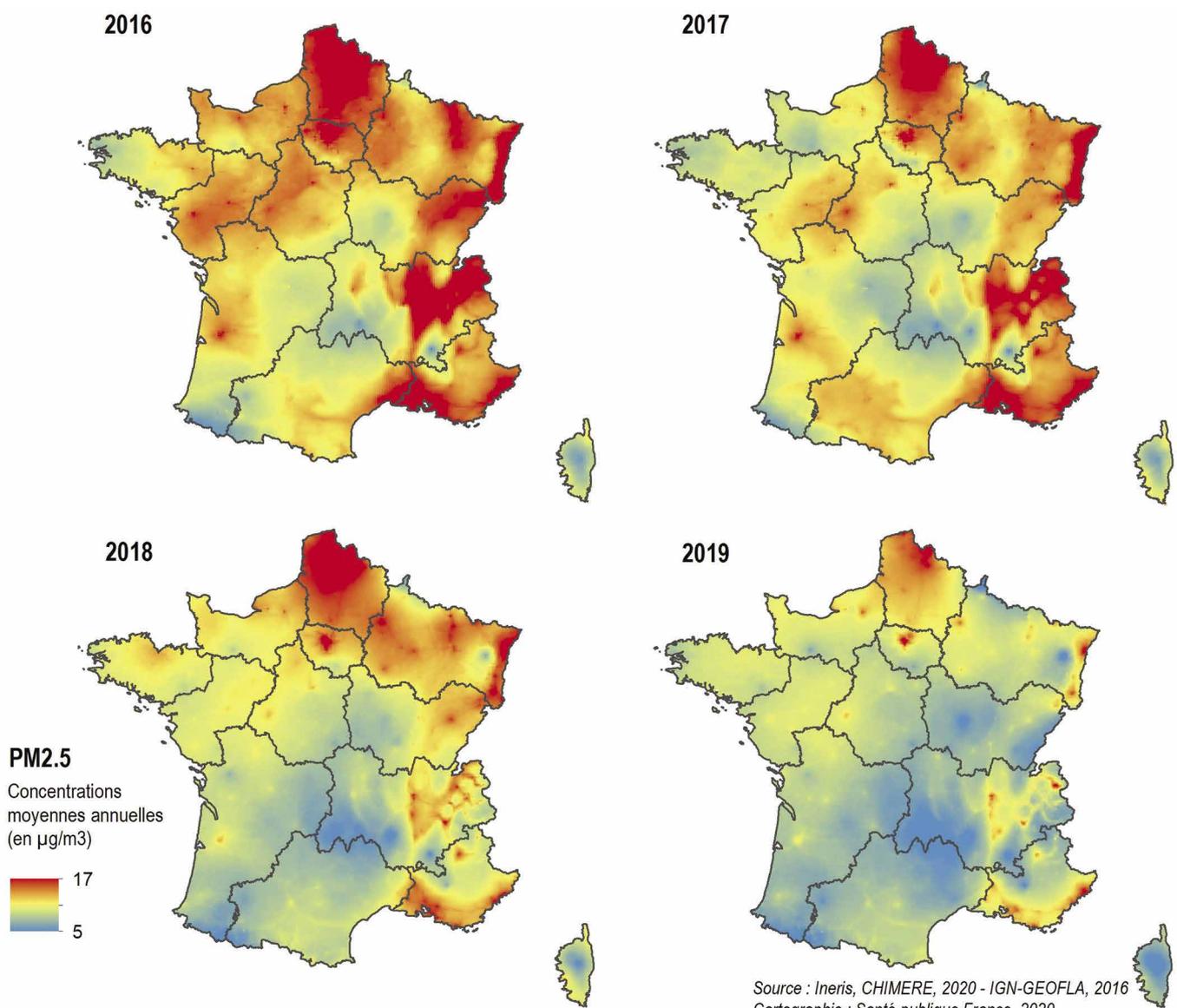
ATTRIBUABLES À UNE EXPOSITION DE LA POPULATION AUX PM<sub>2,5</sub> CHAQUE ANNÉE

Près de 8 mois

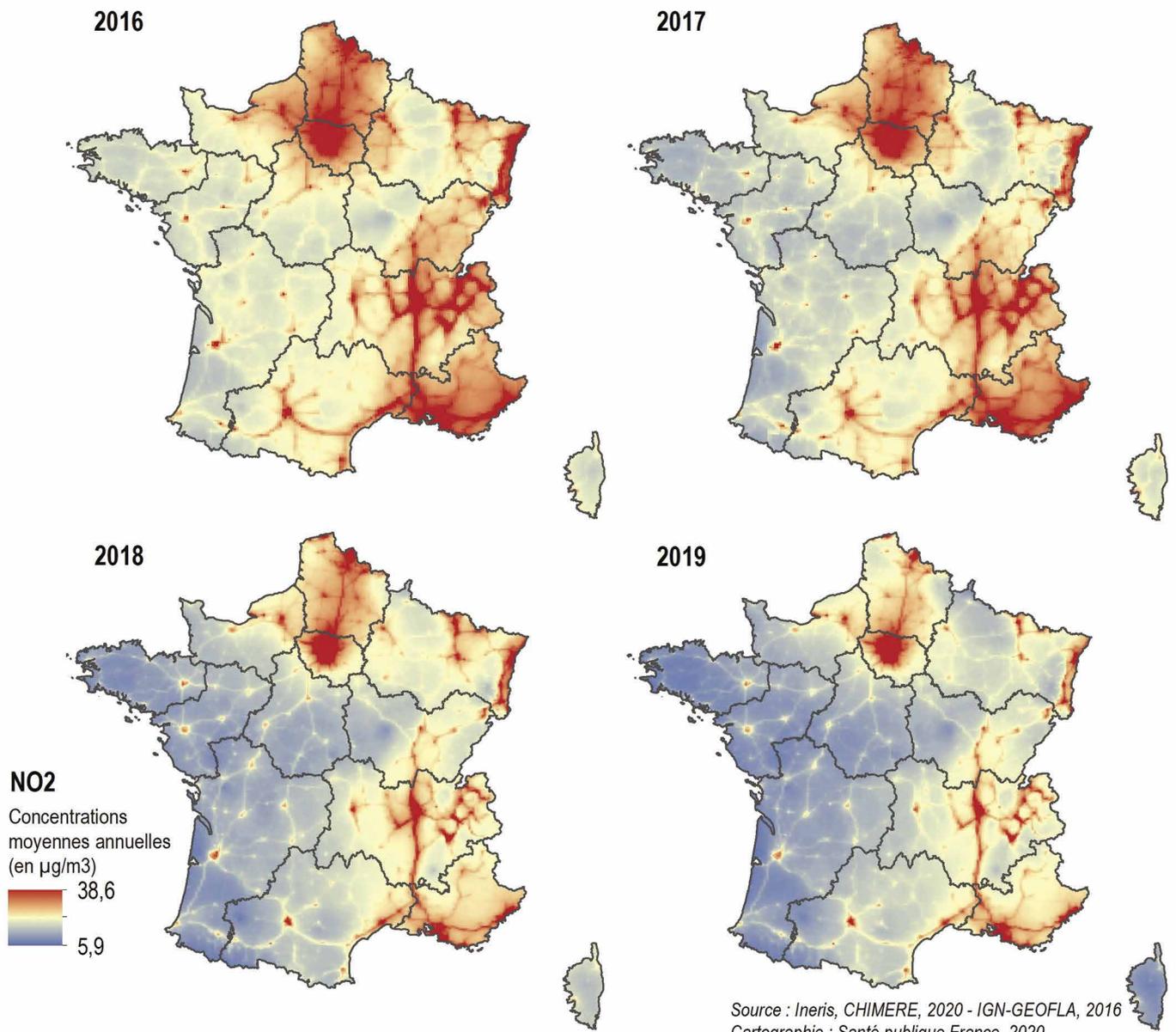
D'ESPÉRANCE DE VIE PERDUS EN MOYENNE EN RAISON D'UNE EXPOSITION AUX PM<sub>2,5</sub> POUR LES PERSONNES ÂGÉES DE 30 ANS ET PLUS

7 %

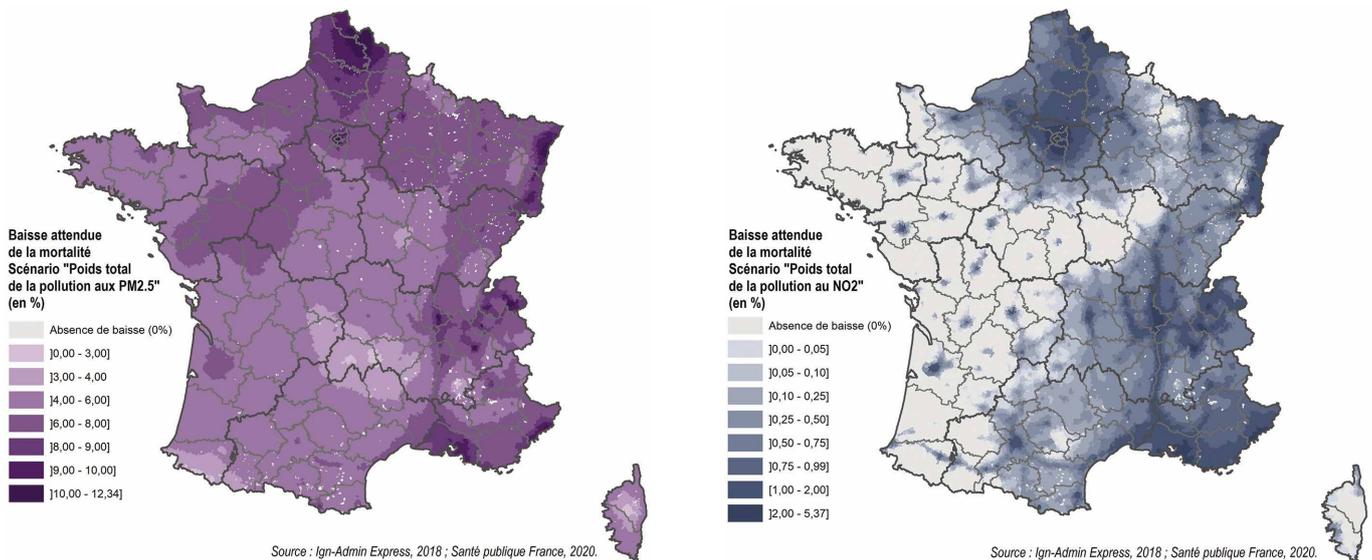
DE LA MORTALITÉ TOTALE ANNUELLE ATTRIBUABLE À UNE EXPOSITION AUX PM<sub>2,5</sub> POUR LES PERSONNES ÂGÉES DE 30 ANS ET PLUS

**FIGURE 4** | Distribution des concentrations moyennes annuelles de  $PM_{2,5}$  sur la période du 1<sup>er</sup> janvier 2016 à 31 décembre 2019

**FIGURE 5** | Distribution des concentrations moyennes annuelles de NO<sub>2</sub> sur la période du 1<sup>er</sup> janvier 2016 au 31 décembre 2019



**FIGURE 6 | Poids total de l'exposition à long terme aux PM<sub>2,5</sub> (à gauche) et au NO<sub>2</sub> (à droite) sur la mortalité de la population âgée de 30 ans et plus à l'échelle communale, du 1<sup>er</sup> janvier 2016 au 31 décembre 2019 en France métropolitaine**



## QUELLE EST LA PORTÉE DES RÉSULTATS DE CETTE ÉTUDE ?

- Cette étude estime, *a posteriori*, les conséquences sur la mortalité des baisses de la pollution de l'air ambiant observées durant le premier confinement au printemps 2020 en France métropolitaine. Les résultats soulignent que les baisses ponctuelles des niveaux de pollution observées au printemps 2020 sont associées à des bénéfices non-négligeables pour la santé.
- Ces résultats constituent une nouvelle illustration confirmant que, dans un contexte inédit qui n'est certainement pas réaliste ni souhaitable pour améliorer la qualité de l'air à long terme, les mesures d'actions publiques apparaissent comme un levier efficace pour réduire à la fois les niveaux de pollution, l'exposition de la population et de manière rapide et visible l'impact résultant sur la santé. Ainsi, cette période constitue une opportunité inédite pour repenser les mesures d'intervention durables sur les sources d'émissions de pollution de l'air en France. Certains enseignements peuvent être déjà capitalisés en termes d'actions publiques ou de changements comportementaux (télétravail, report modal...) qui sont vraisemblablement appelés à se pérenniser au sein de la société française.
- Par ailleurs, dans une mise en perspective plus large et de long terme, cette étude rappelle et souligne que, si la mortalité en lien avec la pollution de l'air ambiant présente une tendance à la baisse, le fardeau ou poids total de la pollution de l'air sur la santé demeure un facteur de risque conséquent et toujours d'actualité en France. Ainsi les efforts de réduction de la pollution de l'air ambiant doivent être poursuivis durablement sur toutes les sources de pollution avec une transition adaptée mais néanmoins ambitieuse.
- Enfin, il est à noter que les restrictions d'activité imposées pour limiter la propagation de la Covid-19 ont eu d'autres conséquences sur la santé de la population, aussi bien positives (réduction du bruit, des décès en lien avec les accidents de la route...) que négatives (troubles de la santé mentale, baisse ou retard au dépistage et à l'accès aux soins, diminution de l'activité physique et augmentation de la sédentarité...). Ces facteurs mettent en évidence la nécessité de prendre en compte de manière transversale les indicateurs de santé en considérant les impacts plurifactoriels des interventions, notamment d'adhésion de la population, d'impacts sur les comportements et la santé mentale, et plus largement d'impact sur le changement climatique.

## MÉTHODE : COMMENT ONT ÉTÉ ESTIMÉS CES IMPACTS SUR LA SANTÉ DE LA POLLUTION DE L'AIR AMBIANT ?

### Quels sont les principes de la démarche ?

L'EQIS est une méthode développée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) pour illustrer l'impact de la pollution de l'air ambiant sur la santé de la population. Elle permet d'estimer les avantages qui peuvent être obtenus dans le cadre de différents scénarios d'amélioration de la qualité de l'air [4].

La pertinence de réaliser une EQIS repose sur l'hypothèse d'un lien de cause à effet entre l'exposition à la pollution de l'air et ses effets sur la santé.

Ce lien se fonde, entre autres, sur :

- **la relation concentration-risque** : plus les niveaux de pollution sont élevés, plus l'intensité et/ou la probabilité de l'effet sur la santé est importante
- **la relation temporelle** : l'exposition au facteur de risque précède l'effet sur la santé
- **la consistance de l'association** : cette association entre facteur de risque et effet se répète dans le temps et dans l'espace
- et, surtout, **la notion de plausibilité biologique** : l'association entre exposition à la pollution de l'air extérieur et effets sur la santé est cohérente avec la connaissance des mécanismes biologiques en général [5]. De nombreuses études confortent cette plausibilité biologique [6-12].

Cette EQIS a été réalisée en s'appuyant sur les recommandations du guide EQIS de la pollution atmosphérique (EQIS-PA) de Santé publique France [4].

### Quelles périodes étudiées ?

Les analyses ont été réalisées à l'échelle communale. Pour étudier les effets à court-terme (survenant dans les quelques jours suivants l'exposition) du confinement, plusieurs périodes correspondant à la mise en place des mesures de gestion ont été examinées. Pour les effets à plus long terme (survenant plusieurs mois après l'exposition), une période d'un an a été prise en compte, de juillet 2019 à juin 2020. Enfin, pour le poids total, quatre années pendant lesquelles aucun évènement sanitaire ou environnemental exceptionnel n'a été enregistré ont été sélectionnées (Tableau 1).

### Quels couples « polluant-santé » ont été étudiés ?

Conformément aux préconisations du guide EQIS-PA pour la mortalité, l'étude a porté :

- pour les impacts à court terme, sur les couples  $PM_{10}^2$  ou  $NO_2^3$  et mortalité non-accidentelle
- pour les impacts à long terme, sur les couples  $PM_{2,5}^4$  ou  $NO_2$  et mortalité toutes causes chez les 30 ans et plus.

### Quels choix de risques relatifs ?

Les fonctions concentration-risque - ou risques relatifs (RR), représentent les relations entre un indicateur d'exposition de la population à la pollution de l'air ambiant et un indicateur de santé. Ils sont estimés par les études épidémiologiques et sont nécessaires aux EQIS. Ces RR sont formulés avec une valeur centrale et un intervalle de confiance à 95 % [IC95 %]. Cet intervalle

TABLEAU 1 | Périodes d'étude

	Objectifs	Période d'étude
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 printemps 2020	Scénario 1 : impact à court terme sur la mortalité, consécutif à la baisse des concentrations journalières de pollution de l'air ambiant occasionnée par les restrictions d'activité et modélisée à partir d'hypothèses portant sur la réduction des émissions pendant le confinement strict et le déconfinement progressif *	Confinement strict : 16 mars au 11 mai 2020 Déconfinement progressif : 11 mai au 22 juin 2020 Période totale : 6 mars au 22 juin 2020
	Scénario 2 : impact à plus long terme sur la mortalité, consécutif à la baisse des concentrations annuelles de pollution de l'air ambiant occasionnée par les restrictions d'activité et modélisée à partir d'hypothèses portant sur la réduction des émissions pendant le confinement strict et le déconfinement progressif *	1 <sup>er</sup> juillet 2019 au 30 juin 2020
Poids total à long terme de la pollution de l'air ambiant entre 2016 et 2019 (hors contexte des mesures prises pour limiter la propagation de la Covid-19)		1 <sup>er</sup> janvier 2016 au 31 décembre 2019

\* Le déconfinement progressif correspond à une reprise progressive de l'activité économique suite au confinement strict.

2. Particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 10 microns

3. Dioxyde d'azote

4. Particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 microns

TABLEAU 2 | Choix des risques relatifs

EQIS	Indicateur de mortalité	Classes d'âges	Risques relatifs (RR)	Références	
<b>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 printemps 2020</b>	Scénario 1 : impact à court terme sur la mortalité, consécutif à la baisse des concentrations journalières de pollution de l'air ambiant occasionnée par les restrictions d'activité	Mortalité non-accidentelle Code CIM-10 : A00-R99	Tous âges	PM <sub>10</sub> : 1,0030 [1,0013-1,0047]	Liu <i>et al.</i> 2019, méta-analyse portant sur 340 villes* [13]
				NO <sub>2</sub> : 1,0075 [1,0040-1,011]	Corso <i>et al.</i> 2020, méta-analyse sur 18 villes françaises [14]
	Scénario 2 : impact à plus long terme sur la mortalité, consécutif à la baisse des concentrations annuelles de pollution de l'air ambiant occasionnée par les restrictions d'activité	Mortalité totale Code CIM-10 : A00-Y98	≥ 30 ans	PM <sub>2,5</sub> : 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) [3]
				NO <sub>2</sub> : 1,023 [1,008-1,037]	COMEAP 2018, méta-analyse de 11 études occidentales [15]
<b>Poids total à long terme de la pollution de l'air ambiant entre 2016 et 2019 (hors contexte des mesures prises pour limiter la propagation de la Covid-19)</b>	Mortalité totale Code CIM-10 : A00-Y98	≥ 30 ans		PM <sub>2,5</sub> : 1,15 [1,05-1,25]	Pascal <i>et al.</i> 2016 [3]
				NO <sub>2</sub> : 1,023 [1,008-1,037]	COMEAP 2018 [15]

\* Par rapport à l'étude indiquée en référence, les RR reportés ici ne prennent en compte dans la méta-analyse que ceux des pays occidentaux (Canada, République tchèque, Estonie, Finlande, France, Allemagne, Grèce, Italie, Portugal, Espagne, Suède, Suisse, Royaume-Uni et États-Unis) et non l'ensemble des pays de l'étude.

de confiance exprime l'erreur aléatoire et la variabilité attribuée à l'hétérogénéité des RR issus des études épidémiologiques. Le choix du RR parmi ceux disponibles dans la littérature s'est fait en s'appuyant sur les critères issus du guide EQIS-PA (Tableau 2).

## Comment ont été modélisés les indicateurs de pollution ?

**Les concentrations des polluants** dans l'air ont été modélisées par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris) en utilisant une adaptation des émissions nationales pendant les périodes de confinement réalisée par le Centre interprofessionnel technique d'études la pollution atmosphérique (Citepa). Cette modélisation s'est faite sur une maille de 4 km × 4 km recouvrant la France [16].

L'estimation des expositions journalières et annuelles à la commune a été réalisée à partir des concentrations modélisées, en utilisant des moyennes pondérées sur la population.

**Pour le premier objectif de l'EQIS**, le modèle a permis d'estimer la baisse des concentrations journalières de NO<sub>2</sub> et PM<sub>10</sub>/PM<sub>2,5</sub> attribuables aux mesures de confinement, sur la base d'hypothèses sur la répercussion de ces mesures sur les émissions de polluants de l'air. La différence entre l'exposition effective de la population pendant les périodes de confinement strict et de déconfinement progressif, et l'exposition qui aurait été observée en l'absence de ces mesures de confinement a été calculée pour les PM<sub>10</sub> et le NO<sub>2</sub> (impact à court terme) et pour les PM<sub>2,5</sub> et le NO<sub>2</sub> (impact à plus long terme).

**Pour le deuxième objectif de calcul du fardeau ou poids total** à long terme de la pollution de l'air ambiant, les données annuelles de concentrations NO<sub>2</sub> et PM<sub>2,5</sub> sur la période 2016-2019 ont été utilisées.

## Quels seuils de référence ont été retenus pour estimer le poids total de la pollution de l'air ambiant en France métropolitaine ?

**En l'absence de données permettant d'estimer la part de la pollution anthropique<sup>5</sup> en France**, les seuils de référence auxquels sont comparés les scénarios sont de 5 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2,5</sub> et de 10 µg/m<sup>3</sup> pour le NO<sub>2</sub>. Concernant les PM<sub>2,5</sub>, cette valeur est très proche de celle utilisée dans l'EQIS précédemment réalisée par Santé publique France pour la France continentale, qui avait retenu la référence de 4,9 µg/m<sup>3</sup> correspondant aux valeurs estimées dans les zones montagneuses françaises et *a priori* exemptes d'une pollution anthropique majeure en particules [3]. Pour le NO<sub>2</sub>, la valeur retenue correspond au niveau choisi pour l'analyse de sensibilité réalisée par l'Agence européenne de l'environnement (AEE), sur la base de la publication de Raaschou-Nielsen *et al.* [17].

**Le niveau d'exposition considérés dans l'EQIS** correspond à la différence entre l'exposition moyenne annuelle estimée sur la période 2016-2019 et le seuil retenu (cette différence étant nulle si la concentration est déjà inférieure au seuil).

5. Part de la pollution de l'air ambiant imputable aux activités humaines

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Menut L, Bessagnet B, Siour G, Mailler S, Pennel R, Cholakian A. Impact of lockdown measures to combat Covid-19 on air quality over western Europe. *Sci Total Environ.* 2020;741:140426.
- [2] Acoucité. Confinement suite à la pandémie COVID-19 - Conséquences sur l'environnement sonore. 2020.
- [3] Pascal M, de Crouy Chanel P, Wagner V, Corso M, Tillier C, Bentayeb M, et al. The mortality impacts of fine particles in France. *Sci Total Environ.* 2016;571:416-25.
- [4] Pascal M, Yvon J-M, Medina S. Pollution atmosphérique. Guide pour la réalisation d'une évaluation quantitative des impacts sur la santé (EQIS). EQIS avec une exposition modélisée. Saint-Maurice: Santé publique France; 2019.
- [5] Medina S, Plasencia A, Ballester F, Mucke HG, Schwartz J, Apheis g. Apheis: public health impact of PM10 in 19 European cities. *J Epidemiol Community Health.* 2004;58(10):831-6.
- [6] Hill AB. The environment and disease: association or causation? *Proc R Soc Med.* 1965;58(5):295-300.
- [7] Jalgama S, Patel VS, Wang P, Sallam A, Harding J, Kelley M, et al. Radical containing combustion derived particulate matter enhance pulmonary Th17 inflammation via the aryl hydrocarbon receptor. *Part Fibre Toxicol.* 2018;15(1):20.
- [8] Harmon AC, Hebert VY, Cormier SA, Subramanian B, Reed JR, Backes WL, et al. Particulate matter containing environmentally persistent free radicals induces AhR-dependent cytokine and reactive oxygen species production in human bronchial epithelial cells. *PLoS One.* 2018;13(10):e0205412.
- [9] European Respiratory Society. Air pollution and health facts & myths  
Available from: <https://ers.app.box.com/v/Air-Pollution-Mythbuster>
- [10] WHO. Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution—Revihaap Project; World Health Organisation: Copenhagen, Denmark, 2013; pp. 1–309
- [11] EPA. U.S. Integrated Science Assessment (ISA) for Oxides of Nitrogen-Health Criteria (Final Report, 2016); EPA/600/R-15/068; U.S. Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA, 2016.
- [12] Petit, P.C.; Fine, D.H.; Vásquez, G.B.; Gamero, L.; Slaughter, M.S.; Dasse, K.A. The Pathophysiology of Nitrogen Dioxide During Inhaled Nitric Oxide Therapy. *ASAIO J.* 2017, 63, 7–13.
- [13] Liu C, Chen R, Sera F, Vicedo-Cabrera AM, Guo Y, Tong S, et al. Ambient Particulate Air Pollution and Daily Mortality in 652 Cities. *N Engl J Med.* 2019;381(8):705-15.
- [14] Corso M, Blanchard M, Medina S, Wagner V. Short-Term Associations of Nitrogen Dioxide (NO2) on Mortality in 18 French Cities, 2010-2014. *Atmosphere.* 2020;11(11):1-18.
- [15] COMEAP. Associations of long-term average concentrations of nitrogen dioxide with mortality. Report, 2018.
- [16] Mailler S, Menut L, Khvorostyanov D, Valari M, Couvidat F, Siour G, et al. CHIMERE-2017: from urban to hemispheric chemistry-transport modeling. *Geosci Model Dev.* 2017;10(6):2397-423.
- [17] Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Jensen SS, Ketzel M, Sorensen M, Hansen J, et al. Traffic air pollution and mortality from cardiovascular disease and all causes: a Danish cohort study. *Environ Health.* 2012;11:60.
- [18] Ministère de la transition écologique. Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2019 Rapport, 2020.
- [19] Medina, M., Adélaïde, L., Wagner, V., de Crouy Chanel, P., Real, E., Colette, A., Couvidat, F., Bessagnet, B., et al., Impact de la 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. 60 p.  
Disponible à partir de l'URL : [www.santepublique-france.fr](http://www.santepublique-france.fr)

## AUTEURS

Sylvia Medina<sup>1</sup>, Lucie Adélaïde<sup>1</sup>, Véréne Wagner<sup>1</sup>,  
Perrine de Crouy Chanel<sup>1</sup>, Elsa Real<sup>2</sup>, Augustin Colette<sup>2</sup>,  
Florian Couvidat<sup>2</sup>, Bertrand Bessagnet<sup>3</sup>, Amélie Durou<sup>1</sup>,  
Sabine Host<sup>4</sup>, Marion Hulin<sup>1</sup>, Magali Corso<sup>1</sup>, Mathilde Pascal<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Direction santé environnement travail, Santé publique France

<sup>2</sup> Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris)

<sup>3</sup> Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (Citepa)

<sup>4</sup> Observatoire régional de santé d'Île-de-France

## REMERCIEMENTS

Nous remercions **Atmo Grand Est** (Emmanuel Rivière, Florent Vasbien, Maxime Alter) et **AtmoFrance** (Charlotte Lepitre) pour leur contribution aux données environnementales fournies et au protocole et à la relecture du rapport, et le Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès (**CépiDc-Inserm**) pour les données de mortalité fournies. Nous remercions également Sylvie Cassadou (**CREA-ORS Occitanie**), Aymeric Ung (**DMNTT, Santé publique France**) et Guillaume Boulanger (**DSET, Santé publique France**) pour leur relecture attentive et leurs suggestions.

### MOTS CLÉS

COVID-19

EQIS

POLLUTION DE L'AIR AMBIANT

MORTALITÉ

FRANCE