

Le directeur général

Maisons-Alfort, le 02 février 2026

## **AVIS**

### **de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail**

**relatif à « la modification des seuils de déclenchement des mesures  
préfecturales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant, et à la révision de  
l'indice européen de qualité de l'air »<sup>1</sup>**

---

*L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.*

*L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.*

*Elle contribue également à assurer la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux, l'évaluation des propriétés nutritionnelles et fonctionnelles des aliments et, en évaluant l'impact des produits réglementés, la protection de l'environnement.*

*Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L. 1313-1 du Code de la santé publique).*

*Ses avis sont publiés sur son site internet.*

---

L'Anses a été saisie le 30 septembre 2025 par la Direction générale de la santé et la Direction générale de l'énergie et du climat pour la réalisation de l'expertise suivante : « Saisine relative à la modification des seuils de déclenchement des mesures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant, et à la révision de l'indice européen de qualité de l'air ».

---

<sup>1</sup> Cette version annule et remplace la version du 14 janvier 2026. Les modifications apportées sont indiquées dans l'Annexe 6.

## TABLE DES MATIERES

<b>1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE .....</b>	<b>3</b>
1.1. CONTEXTE.....	3
1.2. OBJET DE LA DEMANDE .....	3
<b>2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE .....</b>	<b>5</b>
<b>3. ANALYSE ET CONCLUSIONS .....</b>	<b>6</b>
<b>3.1. COMPARAISON DES SEUILS D'INFORMATION ET DE RECOMMANDATION ET DES SEUILS D'ALERTE FRANÇAIS AUX SEUILS PROPOSÉS PAR LA DIRECTIVE (UE) 2024/2881 .....</b>	<b>6</b>
<b>3.2. MISE EN PERSPECTIVE DES SEUILS D'INFORMATION ET DE RECOMMANDATION ET DES SEUILS D'ALERTE AVEC LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE .....</b>	<b>9</b>
3.2.1. PARTICULES PM <sub>2,5</sub> .....	10
3.2.2. PARTICULES PM <sub>10</sub> .....	14
3.2.3. OZONE (O <sub>3</sub> ) .....	17
3.2.4. DIOXYDE D'AZOTE (NO <sub>2</sub> ).....	21
3.2.5. DIOXYDE DE SOUFRE (SO <sub>2</sub> ) .....	25
3.2.6. CONCLUSIONS .....	27
<b>3.3. ANALYSE DE LA METHODE DE CONSTRUCTION DES BORNES DE L'INDICE DE QUALITE DE L'AIR DE L'EUROPEEN .....</b>	<b>29</b>
3.3.1. DESCRIPTION DE LA METHODE.....	29
3.3.2. ANALYSE DE LA METHODE .....	32
3.3.3. MISE EN PERSPECTIVE AVEC L'INDICE NATIONAL ATMO.....	35
<b>3.4. CONCLUSIONS SUR LA PERTINENCE DES SEUILS D'INFORMATION/RECOMMANDATION ET D'ALERTE, ET COHERENCE AVEC L'INDICE DE QUALITE DE L'AIR .....</b>	<b>36</b>
3.4.1. RECHERCHE DE COHERENCE POUR L'INFORMATION DU PUBLIC.....	36
3.4.2. APPROCHE EN TERMES DE SANTE PUBLIQUE .....	38
<b>4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE .....</b>	<b>40</b>

## 1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

### 1.1. Contexte

La saisine s'inscrit dans le cadre de la transposition de la nouvelle Directive européenne 2024/2881 du 23 octobre 2024<sup>2</sup> concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe. Elle cible spécifiquement deux dispositifs relatifs à la qualité de l'air extérieur<sup>3</sup> avec des objectifs distincts : l'indice de qualité de l'air et les seuils d'information et de recommandations (SIR) et seuils d'alerte (SA).

Premièrement, l'indice de qualité de l'air est un outil de communication qui sert à informer la population générale sur le niveau de la pollution de l'air ambiant, sans déclenchement de mesures de gestion réglementaires ou d'actions contraignantes. En France, il s'agit de l'indice ATMO<sup>4</sup>. Un indice de qualité de l'air est proposé à l'échelle européenne (*European Air Quality Index*, EAQI) par l'Agence européenne pour l'environnement (AEE), révisé en juillet 2025. Néanmoins, même si d'après la Directive 2024/2881 les Etats membres doivent *a minima* s'appuyer sur cet indice européen, chacun peut développer un indice de qualité de l'air national qui lui est propre.

Deuxièmement, le dispositif réglementaire relatif aux seuils d'information et de recommandation et aux seuils d'alerte sert à la gestion des épisodes de pollution de l'air extérieur. Il est défini à l'échelle européenne, puis transposé en droit national. En France, il repose sur la mise en œuvre de procédures préfectorales<sup>5</sup>. Toutefois, les Etats membres peuvent définir des seuils plus faibles et inclure dans la détermination de ces seuils d'autres polluants que ceux de la directive européenne, comme c'est le cas de la France actuellement.

Davantage d'informations sur les deux dispositifs mentionnés sont apportées en Annexe 2.

### 1.2. Objet de la demande

L'Anses a réalisé et publié en 2021 un avis relatif à l'évolution du dispositif de déclenchement des procédures préfectorales et à la cohérence entre ce dernier et celui de l'indice de la qualité de l'air (Anses 2021). Cette évolution visait à introduire les PM<sub>2,5</sub><sup>6</sup> dans le premier dispositif et à y modifier les seuils des autres polluants afin que, pour tous les polluants, le seuil

<sup>2</sup> Directive (UE) 2024/2881 du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2024 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe (refonte) : [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=OJ:L\\_202402881](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202402881)

<sup>3</sup> La terminologie « air extérieur » est utilisée comme synonyme d' « air ambiant ». Par ailleurs, par souci de concision, dans ce document, la mention de « qualité de l'air » sera utilisée pour décrire la qualité de l'air extérieur.

<sup>4</sup> L'indice ATMO est un indice qui représente la qualité de l'air ; il est calculé à partir des concentrations de 5 polluants réglementés : les particules fines (PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>10</sub>, le dioxyde d'azote, le dioxyde de soufre et l'ozone ([L'indice ATMO | Atmo France](#))

<sup>5</sup> Arrêté du 7 avril 2016 relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant modifié par arrêté du 26 août 2016 : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000032376671/>

<sup>6</sup> Les PM<sub>2,5</sub> sont les particules passant dans un orifice d'entrée calibré tel que défini dans la méthode de référence pour l'échantillonnage et la mesure du PM<sub>2,5</sub>, norme EN 12341, avec un rendement de séparation de 50 % pour un diamètre aérodynamique de 2,5 µm.

d'information et de recommandation corresponde au passage d'un niveau d'indice ATMO « dégradé » à « mauvais » et le seuil d'alerte corresponde au passage d'un niveau « mauvais » à « très mauvais ».

Depuis, les nouvelles lignes directrices de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) ont été publiées en 2021 (WHO 2021) et la directive européenne 2024/2881 est entrée en vigueur le 10 décembre 2024. À compter de cette date, les Etats membres de l'Union européenne (UE) disposent de deux ans pour la transposer dans le droit national.

Cette nouvelle directive européenne remplace les directives 2004/107/CE<sup>7</sup> et 2008/50/CE<sup>8</sup> du Parlement européen et du Conseil. Elle introduit, entre autres, de nouveaux seuils d'information et d'alerte plus précoces, afin de se rapprocher des nouvelles lignes directrices de l'OMS, actualisant les valeurs guides pour plusieurs polluants dont ceux faisant l'objet de seuils (cf. Annexe 3).

L'Anses a été saisie pour formuler un avis sur la pertinence des seuils d'information et des seuils d'alerte proposés par la nouvelle directive européenne eu égard au contexte français. De plus, il est également demandé à l'Agence, en raison de la modification des bornes de l'indice européen de qualité de l'air, d'analyser la cohérence entre ces deux dispositifs : d'une part la gestion des épisodes de pollution et d'autre part la communication auprès du grand public sur la qualité de l'air.

En application de l'article L.221-1 du code de l'environnement, les normes de qualité de l'air définies par décret en Conseil d'Etat sont fixées après avis de l'Anses.

---

<sup>7</sup> Directive 2004/107/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 décembre 2004 concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=celex%3A32004L0107>

<sup>8</sup> Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000018984836/>

## 2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

L'instruction de la saisine a été structurée selon les quatre axes de travail suivants :

1. Comparaison des seuils d'information et de recommandation et des seuils d'alerte français aux seuils proposés par la directive (UE) 2024/2881 ;
2. Mise en perspective des seuils d'information et de recommandation et des seuils d'alerte avec les données de la littérature scientifique ;
3. Analyse de l'évolution et de la méthode de construction de l'indice de qualité de l'air de l'AEE ;
4. Pertinence des seuils d'information et de recommandation et des seuils d'alerte proposés par la directive (UE) 2024/2881, et cohérence avec l'indice de qualité de l'air.

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Janvier 2024) ».

Le présent avis a été réalisé par l'Unité d'évaluation des risques liés à l'air de la Direction de l'évaluation des risques. Pour son élaboration, l'Anses s'est appuyée sur deux expertes rapportrices, membres du comité d'experts spécialisés « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » (CES Air), qui ont été mandatées afin de réaliser une relecture critique de l'avis. Les intervenants sont présentés en Annexe 1 du présent avis.

Les axes de travail et les résultats de cette expertise ont été présentés au CES Air, tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques, le 4 novembre et 11 décembre 2025.

L'Anses analyse les liens d'intérêts tout au long des travaux, afin de prévenir les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet : <https://dpi.sante.gouv.fr/>.

### 3. ANALYSE ET CONCLUSIONS

#### 3.1. Comparaison des seuils d'information et de recommandation et des seuils d'alerte français aux seuils proposés par la directive (UE) 2024/2881

Comme évoqué précédemment (voir 1.1.), les seuils d'information et de recommandation et les seuils d'alerte sont définis à l'échelle européenne et française. La nouvelle directive européenne (Directive (UE) 2024/2881) propose de nouveaux seuils pour les polluants suivants : les particules (PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>), l'ozone (O<sub>3</sub>), le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et le dioxyde de soufre (ou anhydride sulfureux, SO<sub>2</sub>). Elle devra être transposée en droit national d'ici la fin de l'année 2026.

Toutefois, tel que précisé dans son article 15.5, « *les États membres peuvent maintenir ou introduire des mesures de protection plus strictes, y compris des seuils d'alerte ou des seuils d'information plus stricts que ceux visés au présent article, conformément à l'article 193 du traité sur le fonctionnement de l'Union européenne* ». Ainsi, chaque Etat membre peut appliquer des seuils plus stricts que ceux proposés à l'échelle européenne, comme c'est le cas de la France pour certains polluants.

Le Tableau 1 présente une comparaison des seuils actuellement en vigueur en France à ceux proposés par la nouvelle directive européenne.

**Tableau 1. Seuils d'information et de recommandation (SIR) et seuils d'alerte (SA) français (FR) actuels comparés à ceux proposés par la directive européenne (UE) 2024/2881 à échéance 2030**

Polluant	Type de valeur	Réglementation FR actuelle		Prise en compte dans les directives UE antérieures 2004/107/CE et 2008/50/CE	Directive (UE) 2024/2881		Commentaires
		Unité (µg.m <sup>-3</sup> )	Durée de mesure		Unité (µg.m <sup>-3</sup> )	Durée de mesure	
PM <sub>2,5</sub>	SIR	/	/	X	50	Moyenne journalière	
	SA	/	/	X	50	Moyenne sur 3 jours consécutifs	
PM <sub>10</sub>	SIR	50	<b>Moyenne journalière</b>	<b>X</b>	<b>90</b>	<b>Moyenne journalière</b>	<b>FR &lt; UE</b>
			En cas de persistance*	X			
	SA	80	<b>Moyenne journalière</b>	<b>X</b>	<b>90</b>	<b>Moyenne sur 3 jours consécutifs</b>	<b>FR &lt; UE</b>
O <sub>3</sub>	SIR	180	Moyenne horaire	✓	180	Moyenne horaire	
			En cas de persistance*	X			
	SA	240	<b>Moyenne horaire</b>	<b>✓</b>	<b>240</b>	<b>Moyenne horaire sur 3 heures consécutives</b>	<b>FR &lt; UE car la durée de calcul de la moyenne est plus faible</b>
NO <sub>2</sub>	SIR	200	Moyenne horaire	X	150	Moyenne horaire	UE < FR
	SA	400	Moyenne horaire sur 3 heures consécutives	✓	200	Moyenne horaire sur 3 heures consécutives	UE < FR
		200	En cas de persistance*	X			
SO <sub>2</sub>	SIR	300	Moyenne horaire	X	275	Moyenne horaire sur 3 heures consécutives	UE < FR
	SA	500	Moyenne horaire sur 3 heures consécutives	✓	350	Moyenne horaire sur 3 heures consécutives	UE < FR

\* Pour le NO<sub>2</sub> : en moyenne horaire si la procédure d'information et de recommandation pour le dioxyde d'azote a été déclenchée la veille et le jour même et que les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain.

Pour les PM<sub>10</sub> et l'O<sub>3</sub> : « épisode persistant de pollution » dès qu'un dépassement est prévu pour le jour même et le lendemain, ou dès qu'un dépassement est constaté deux jours consécutifs (voir Annexe 2).

FR<UE : le seuil français est plus précoce / plus protecteur que celui de la directive ; UE<FR étant la situation inverse.

Les symboles « ✓ » et « X » indiquent respectivement la présence ou l'absence de prise en compte du polluant concerné dans la réglementation européenne antérieure définie par les directives 2004/107/CE et 2008/50/CE, soit avant la publication de la directive (UE) 2024/2881. Les cellules grisées et **en gras** indiquent que les seuils français sont plus stricts que la nouvelle réglementation européenne.

Sources : Code de l'environnement (Section 1 : Surveillance de la qualité de l'air ambiant (Articles R221-1 à R221-3)), arrêté du 7 avril 2016 relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant, directives 2004/107/CE et 2008/50/CE, directive (UE) 2024/2881.

Les seuils français actuels peuvent donc différer de ceux proposés par la nouvelle directive européenne à échéance 2030 :

- $PM_{10}$  : les seuils français sont plus stricts que ceux proposés par la réglementation européenne.
- $O_3$  : les SIR sont identiques entre les réglementations nationale et européenne mais le SA français est légèrement plus strict que celui de la réglementation européenne. En effet, même si la valeur est identique, la directive européenne introduit une durée de mesure qui est différente de celle définie en France (cf. Annexe 4). Il faut donc que cette concentration soit dépassée en moyenne horaire sur 3 heures consécutives pour que le SA soit dépassé, ce qui n'est pas le cas du SA français.
- $NO_2$  : les seuils proposés par la réglementation européenne sont plus stricts que les seuils français. De ce fait, ils devront *a minima* être transposés en droit national.
- $SO_2$  : les seuils proposés par la réglementation européenne sont plus stricts que les seuils français. De ce fait, ils devront *a minima* être transposés en droit national.

Pour les  $PM_{2,5}$ , il n'existait pas de seuils avant l'entrée en vigueur de la Directive (UE) 2024/2881, même dans la réglementation nationale, bien qu'ayant été proposé dans l'avis de l'Anses de 2021. Ils devront *a minima* être transposés en droit national.

Selon la Directive (UE) 2024/2881 :

- concernant les seuils d'information (SIR), les polluants sont « à mesurer en moyenne horaire sur 3 heures consécutives pour l'anhydride sulfureux et sur une heure pour le dioxyde d'azote, et sur 1 jour pour les particules  $PM_{10}$  et  $PM_{2,5}$ , dans des lieux représentatifs de la qualité de l'air sur au moins 100 km<sup>2</sup> ou sur une zone entière, la plus petite surface étant retenue. À mesurer sur 1 heure pour l'ozone » ;
- pour les seuils d'alerte (SA), les polluants sont « à mesurer en moyenne horaire sur 3 heures consécutives pour l'anhydride sulfureux et le dioxyde d'azote, et en moyenne journalière sur 3 jours consécutifs ou moins pour les particules  $PM_{10}$  et  $PM_{2,5}$ , dans des lieux représentatifs de la qualité de l'air sur au moins 100 km<sup>2</sup> ou sur une zone entière, la plus petite surface étant retenue. À mesurer sur 1 heure pour l'ozone ; aux fins de la mise en œuvre de l'article 20, le dépassement du seuil doit être mesuré ou prévu pour 3 heures consécutives ».

L'annexe III de la Directive (UE) 2024/2881 introduit un critère de population, en définissant un « *nombre minimal de points de prélèvement nécessaires pour les mesures fixes afin d'évaluer le respect des [...] des seuils d'alerte et des seuils d'information* ». Le nombre de points de prélèvement minimal selon la population de la zone concernée est détaillé dans les tableaux 1 à 4 de cette même annexe.

Les objectifs de qualité des données, notamment les incertitudes des mesures et des applications de modélisation pour l'évaluation de la qualité de l'air ambiant, sont détaillées en annexe V de la Directive 2024/2881.



Actuellement, en France, le dépassement des seuils d'information et de recommandation et d'alerte est caractérisé à partir d'un critère de superficie et/ou populationnel ou à partir de caractéristiques locales (cf. Annexe 2).

La Directive (UE) 2024/2881 précise également des critères de superficie dans son annexe I ainsi que les modalités de mesure.

### **3.2. Mise en perspective des seuils d'information et de recommandation et des seuils d'alerte avec la littérature scientifique**

Une synthèse des effets sur la santé liés à une exposition à court terme pour chacun des polluants faisant l'objet de seuils d'information et de recommandation (SIR) ainsi que d'un seuil d'alerte (SA) a été réalisée en s'appuyant sur celle du précédent avis de l'Anses (Anses 2021). Elle complète ce dernier par l'examen de deux études épidémiologiques plus récentes réalisées sur des populations en France portant sur la question des seuils de qualité de l'air et leur impact sur la santé de populations en France (Alari *et al.* 2021 ; Wagner *et al.* 2023)<sup>9</sup>, et en considérant les SIR et SA en vigueur à date en France et ceux proposés par la Directive européenne 2024/2881.

En 2021, l'Anses avait utilisé le rapport d'évaluation scientifique intégrée (*Integrated science assessment* - ISA) de l'US-EPA le plus récent pour chaque polluant concerné par des seuils et l'a complété par une revue de la littérature pour documenter les effets à court terme. Les types de données suivants ont été considérés :

- Des données relatives aux plus fortes et plus faibles concentrations d'exposition associées à des effets à court terme pour lesquels le niveau de causalité est le plus élevé. Seuls les effets sanitaires correspondant à des relations « causales avérées » et « causales probables » ont été retenus<sup>10</sup>, ce qui concerne des effets respiratoires, des effets cardiovasculaires ou la mortalité « toutes causes ».
- Des seuils d'effets sanitaires suggérés par une revue de la littérature, incluant une méta-analyse d'études épidémiologiques menées dans différents pays sur les effets de l'exposition à court terme aux polluants sur la mortalité (Orellano *et al.* 2020).

Concernant les deux études épidémiologiques plus récentes réalisées sur des populations en France et complétant ce corpus (Alari *et al.* 2021 ; Wagner *et al.* 2023), leurs objectif et méthode sont résumés en Annexe 5.

Les données présentant un intérêt pour le présent avis sont exposées dans les chapitres 3.2.1. à 3.2.5. relatifs à l'ensemble des polluants (respectivement PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> et SO<sub>2</sub>).

---

<sup>9</sup> La prise en compte de ces deux études remplace celle des études épidémiologiques plus anciennes utilisées dans l'avis de 2021 et issues du Programme de surveillance air et santé (PSAS) de 2006 et 2008 (Lefranc *et al.* 2006; Blanchard *et al.* 2008; Pascal *et al.* 2013).

<sup>10</sup> Dans les rapports ISA, la relation causale entre l'exposition à court terme à chaque type de polluant et les effets sanitaires a été classée dans cinq catégories : relation causale avérée, relation causale probable, évidences suggérées mais insuffisantes pour prouver une relation causale, évidences inadéquates pour établir une relation causale et relation causale non probable.

### 3.2.1. Particules PM<sub>2,5</sub>

L'exposition à court terme aux PM<sub>2,5</sub> est associée à différents effets respiratoires avec une relation causale probable selon le rapport ISA (EPA 2019). Le détail des associations soutenant cette conclusion du rapport ISA de l'EPA, issues d'études épidémiologiques et des études toxicologiques, ainsi que les concentrations la plus faible et la plus forte en PM<sub>2,5</sub> associées à chaque effet sanitaire sont décrites dans l'avis de l'Anses de 2021.

En synthèse, s'agissant des effets respiratoires liés à une exposition à court terme aux PM<sub>2,5</sub>, il est observé :

- une augmentation des hospitalisations ou des passages aux urgences pour des exacerbations d'asthme, des exacerbations de la bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO), ou toutes maladies respiratoires et de la mortalité pour cause respiratoire. Les concentrations journalières en PM<sub>2,5</sub> associées à ces effets allaient de 4,7 à 69,9 µg.m<sup>-3</sup>.
- une association avec des maladies respiratoires allergiques, la BPCO et une altération des défenses de l'organisme, les concentrations en PM<sub>2,5</sub> correspondantes allant de 100 à 596 µg.m<sup>-3</sup> pour une durée d'exposition allant de 2 à 8 heures.

Parmi les effets associés à une exposition à court terme aux PM<sub>2,5</sub>, les effets cardiovasculaires sont rapportés avec une relation causale avérée. Des études épidémiologiques ont montré que l'exposition aux PM<sub>2,5</sub> était associée à une augmentation des passages aux urgences et des hospitalisations liées aux pathologies cardiovasculaires, aux maladies coronariennes et à une fréquence cardiaque élevée. Les concentrations journalières en PM<sub>2,5</sub> associées à ces effets allaient de 5,8 à 18,6 µg.m<sup>-3</sup>. Des études d'exposition humaine contrôlée et des études toxicologiques ont montré une association avec un dysfonctionnement endothélial, une pression artérielle élevée et une altération de la fonction cardiaque. Les concentrations en PM<sub>2,5</sub> allant de 24 à 353 µg.m<sup>-3</sup> pour une durée d'exposition allant de 2 à 5 heures.

Des études épidémiologiques ont également montré une association entre une exposition à court terme aux PM<sub>2,5</sub> et une augmentation de la mortalité toutes causes non accidentelles confondues, soutenant la conclusion d'une relation causale avérée. Les concentrations journalières en PM<sub>2,5</sub> associées à cet effet sanitaire allaient de 4,4 à 69,9 µg.m<sup>-3</sup>.

Les concentrations les plus faibles et les plus fortes en PM<sub>2,5</sub> sur une durée d'exposition de 24 heures associées à des effets sanitaires dans les études épidémiologiques sont présentées dans la Figure 1<sup>11</sup>. Des concentrations en PM<sub>2,5</sub> inférieures aux seuils d'information et de recommandation et aux seuils d'alerte sont associées à des effets sanitaires, dans les études européennes et françaises entre autres (Figure 1 ci-dessous).

Cependant, cette mise en perspective ne doit pas être sur-interprétée car la présence d'une association ne suffit pas à renseigner l'amplitude du risque. Une estimation de la fraction attribuable est une approche permettant de pallier cette limite en quantifiant la proportion de

---

<sup>11</sup> Les concentrations issues à la fois des études épidémiologiques, d'exposition humaine contrôlée et toxicologiques ont été détaillées dans le Tableau 1 en Annexe 5 de l'avis de 2021 (Anses, 2021).

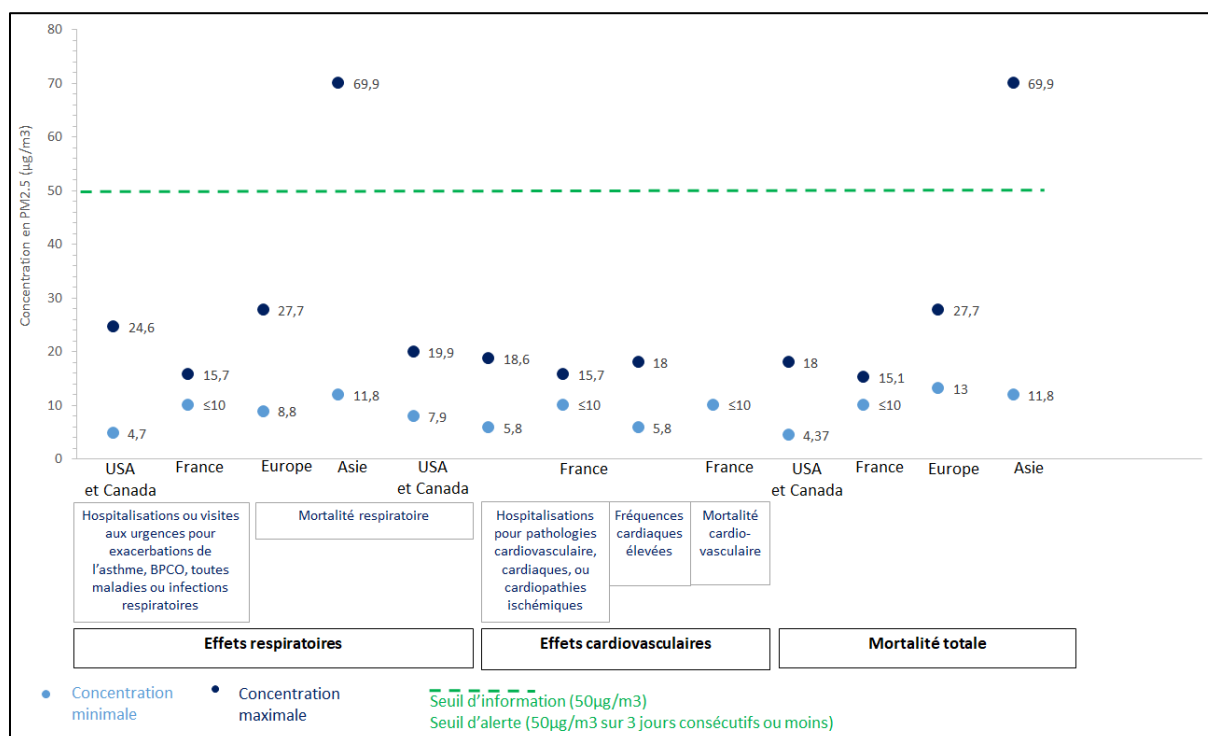
décès prématurés, d'hospitalisations ou tout autre évènement de santé dans la population, liée à une exposition donnée, et qui aurait été évitée en l'absence d'exposition. Il a été considéré pour l'exposition : les seuils d'information et d'alerte, les valeurs guides et objectifs intermédiaire de l'OMS et la concentration moyenne d'exposition.

En général, une relation linéaire est observée entre la concentration d'exposition aux  $PM_{2.5}$  de l'air ambiant et le risque de décès toutes causes non accidentelles et de causes spécifiques (respiratoires ou cardiovasculaires), même à de faibles concentrations ambiantes (Orellano *et al.* 2020) et sans seuil discernable (Anses, 2025). Quelques études ont investigué la forme de la relation de manière approfondie, dont une étude récente réalisée en France (Wagner *et al.* 2023).

Selon l'étude de Wagner *et al.* (2023), une relation linéaire (modèle 1) et une relation supra-linéaire (modèles 2 à 4) sont observées entre la concentration journalière d'exposition aux  $PM_{2.5}$  et la mortalité non accidentelle et cardiovasculaire, ainsi qu'avec les hospitalisations pour causes cardiaques et respiratoires. Par exemple, une augmentation de  $10 \mu g.m^{-3}$  de la concentration journalière en  $PM_{2.5}$  est associée à une augmentation de 0,4 % [IC 95 % : 0,2 ; 0,7]<sup>12</sup> de la mortalité non accidentelle avec le modèle linéaire (modèle 1). Le modèle linéaire par morceaux (modèle 3) fixait un point de rupture à  $10 \mu g.m^{-3}$  et indiquait qu'en dessous de  $10 \mu g.m^{-3}$ , une augmentation de  $10 \mu g.m^{-3}$  de la concentration journalière en  $PM_{2.5}$  était associée à une augmentation de 3,8 % [4,4 ; 6,3] de la mortalité, tandis qu'au-dessus de  $10 \mu g.m^{-3}$ , cette augmentation était de 0,3 % [0 ; 0,6]. Des ordres de grandeur similaires ont été obtenus avec le modèle spline (modèle 4), et des tendances comparables ont été observées pour l'ensemble des indicateurs de santé. Une faible hétérogénéité a été observée entre les villes ( $I^2 < 25$  %).

Les fractions de décès prématurés et d'hospitalisations attribuables aux différents seuils de concentration calculées à partir de l'étude de Wagner *et al.* (2023) (Tableau 2) sont plus élevées avec le modèle linéaire par morceaux (modèle 3) qu'avec le modèle linéaire (modèle 1), cette différence relative entre les deux modèles étant plus marquée pour les valeurs de concentration inférieures ou égales à l'objectif intermédiaire de l'OMS IT-4 de  $25 \mu g.m^{-3}$ . Les résultats issus du modèle 3 montrent une absence ou quasi-absence d'augmentation de la fraction attribuable au-delà de l'objectif intermédiaire IT-4 de  $25 \mu g.m^{-3}$ . Ces résultats suggèrent que le principal bénéfice potentiel de réduction de la fraction attribuable à la concentration d'exposition aux  $PM_{2.5}$  se situerait en dessous de l'objectif intermédiaire IT-4 de  $25 \mu g.m^{-3}$  et bien en-dessous du SIR européen de  $50 \mu g.m^{-3}$ . Cette approche s'appuie sur une hypothèse de stabilité de la forme de la relation concentration – risque dans le temps, et quels que soient les seuils d'information et d'alerte en vigueur.

<sup>12</sup> Correspondant à un risque relatif :  $RR_{10} = 1,004$  [IC 95 % : 1,002 ; 1,007]



**Figure 1. Concentrations en PM<sub>2,5</sub> la plus faible et la plus forte sur une durée d'exposition de 24h moyenne associées à des effets respiratoires et cardiovasculaires et à la mortalité toutes causes non accidentelles confondues (dite « mortalité totale ») dans les études épidémiologiques (données extraites de (EPA 2019) - la zone géographique est mentionnée si renseignée dans le rapport de l'EPA - et de Wagner *et al.* 2023).**

**Tableau 2. Fraction en % de décès prématurés et d'hospitalisations attribuable à la concentration d'exposition aux PM<sub>2,5</sub> (lag 0-1) dans 18 villes en France sur la période 2007-2017 (calculée à partir de Wagner *et al.* 2023)**

		Modèle linéaire par morceaux de Wagner <i>et al.</i> 2023 (modèle 3)			Modèle linéaire de Wagner <i>et al.</i> 2023 (modèle 1)		
Type de seuil / Valeurs guides	Concentration (µg/m³)	Fraction attribuable (%)	Fraction attribuable IC95% borne inf (%)	Fraction attribuable IC95% borne sup (%)	Fraction attribuable (%)	Fraction attribuable IC95% borne inf (%)	Fraction attribuable IC95% borne sup (%)
Mortalité toutes causes non accidentelles							
WHO AQG	15	4	1	6	1	0	1
Conc.moy24h (18 villes)*	16	4	1	6	1	0	1
WHO IT-4	25	5	2	7	1	0	2
WHO IT-3	37,5	5	2	7	2	1	3
SIR UE & WHO IT-2	50	5	2	7	2	1	4
WHO IT-1	75	5	3	8	3	1	5
Mortalité causes cardiovasculaires							
WHO AQG	15	6	2	10	1	0	2
Conc.moy24h (18 villes)*	16	6	2	10	1	0	2
WHO IT-4	25	7	2	11	2	0	3
WHO IT-3	37,5	7	2	11	2	0	5
SIR UE & WHO IT-2	50	7	3	11	3	0	6
WHO IT-1	75	7	2	12	4	0	9
Hospitalisations causes cardiaques							
WHO AQG	15	4	2	6	1	0	1
Conc.moy24h (18 villes)*	16	4	2	6	1	0	1
WHO IT-4	25	4	2	7	1	0	2
WHO IT-3	37,5	5	2	7	2	0	3
SIR UE & WHO IT-2	50	4	2	7	2	0	4
WHO IT-1	75	5	2	8	3	1	6
Hospitalisations causes respiratoires							
WHO AQG	15	3	1	3	0	0	1
Conc.moy24h (18 villes)*	16	3	1	3	0	0	1
WHO IT-4	25	3	1	4	1	0	1
WHO IT-3	37,5	2	1	4	1	0	2
SIR UE & WHO IT-2	50	2	0	3	1	0	3
WHO IT-1	75	0	0 **	2	2	0	4

Lag 0-1 : L'exposition correspond à la moyenne des concentrations en polluants du jour de l'évènement de santé (hospitalisation, décès) et du jour précédant l'évènement de santé.

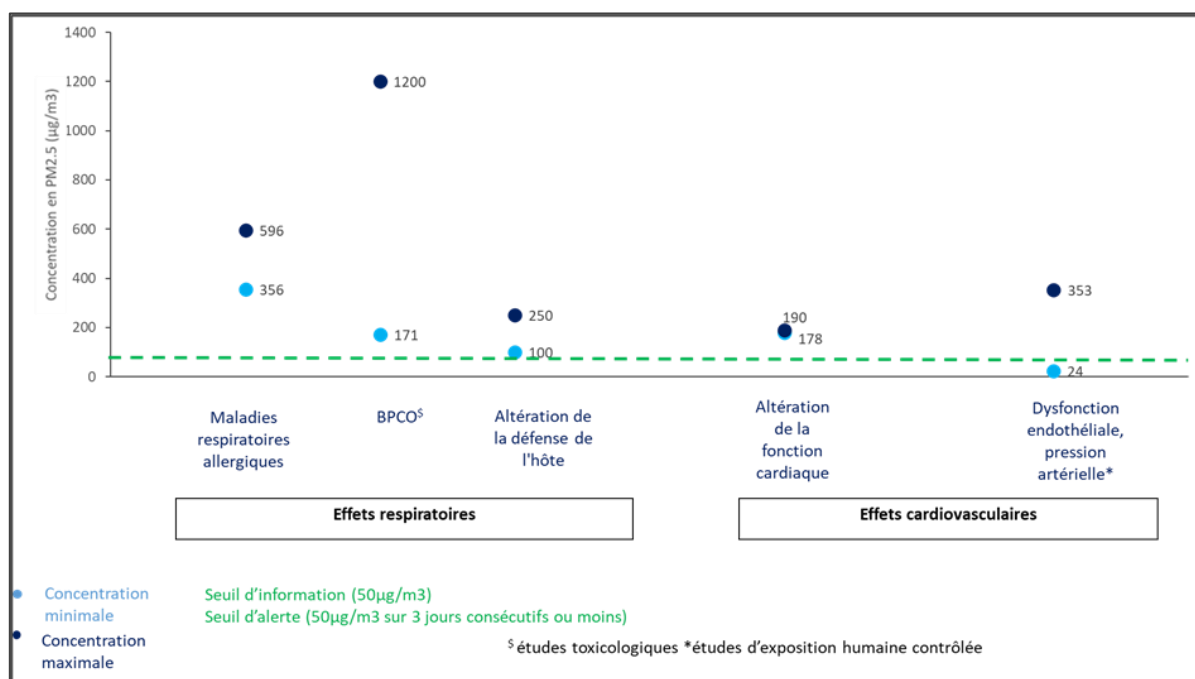
\* Conc. moy24h (18 villes) : Concentration moyenne 24h mesurée sur 18 villes en France sur la période 2007-2017 et pondérée sur le nombre moyen journalier de décès non accidentels dans chacune des 18 villes (calculée à partir des données de Wagner *et al.* 2023).

\*\* Valeur de FA négative (car risque relatif < 1 dans l'étude de Wagner *et al.* 2023) tronquée à 0.

WHO AQG : World Health Organization Air Quality Guidelines (lignes directrices de l'OMS sur la qualité de l'air)

WHO-IT : World Health Organization Interim Target (objectifs intermédiaires de l'OMS)

Les concentrations les plus faibles et les plus fortes en PM<sub>2,5</sub> sur une durée d'exposition courte (de 2 heures à 8 heures) associées à des effets sanitaires établies par les études d'exposition humaine contrôlée et les études toxicologiques sont présentées dans la Figure 2. Les concentrations en PM<sub>2,5</sub> associées à des effets sanitaires dans ces études d'exposition humaine contrôlée et toxicologiques (Figure 2 ci-dessous,) sont supérieures aux seuils d'information et d'alerte à l'exception de la concentration en PM<sub>2,5</sub> associée à un dysfonctionnement endothélial et une pression artérielle élevée qui était de 24 µg/m<sup>3</sup>. Cependant, comme dans les études épidémiologiques, cette mise en perspective ne doit pas être sur-interprétée. En effet, la méthode de mesure des concentrations sur laquelle sont basés les seuils est différente de celle utilisée en condition de laboratoire, et les résultats observés chez l'animal ne peuvent être transposés directement à l'humain.



**Figure 2. Concentrations en PM<sub>2,5</sub> la plus faible et la plus forte sur une durée d'exposition allant de 2 à 8h associées à des effets respiratoires et cardiovasculaires dans les études d'exposition humaine contrôlée et les études toxicologiques (données extraites de (EPA 2019)).**

### 3.2.2. Particules PM<sub>10</sub>

L'étude de Alari *et al.* (2021), décrite en introduction de ce chapitre, n'a globalement pas mis en évidence de réduction de la mortalité à Paris liée à la mise en place initiale des seuils de PM<sub>10</sub> en 2008 (SIR = 80 µg.m<sup>-3</sup> ; SA = 125 µg.m<sup>-3</sup>), n'observant pas de différences sur la mortalité cardiovasculaire et respiratoire (DID légèrement supérieures à 1 – comparaison Phase 2 à Phase 1). En revanche, lors de l'évaluation de l'efficacité des seuils révisés en 2011 (SIR = 50 µg.m<sup>-3</sup> ; SA = 80 µg.m<sup>-3</sup>), une diminution de la mortalité cardiovasculaire a été observée (DID = 0,84 ; IC 95 % : 0,755 à 0,930 – comparaison Phase 3 à Phase 2), l'estimation étant plus imprécise pour la mortalité respiratoire (DID = 0,97 ; IC 95 % : 0,796 à 1,191).

L'étude suggère que le déclenchement des mesures de gestion à partir de seuils d'information et de recommandation et des seuils d'alerte pourraient ne pas présenter de bénéfices sanitaires pour la population lorsque les seuils sont fixés à des niveaux journaliers trop élevés de  $PM_{10}$  et semble, de ce point de vue, justifier la révision à la baisse en 2011 des valeurs des SIR et SA français ; qui sont déjà plus faibles que les seuils européens fixés en 2024 ( $SI = 90 \mu g.m^{-3}$  ;  $SA = 90 \mu g.m^{-3}$  sur trois jours consécutifs ou moins).

Comme pour les  $PM_{2,5}$ , une relation linéaire est généralement observée entre la concentration en  $PM_{10}$  et le risque de décès toutes causes non accidentelles et de causes spécifiques (respiratoires ou cardiovasculaires), même à de faibles concentrations ambiantes (Orellano *et al.* 2020) et sans seuil discernable (Anses, 2025).

Parmi les quelques études ayant investigué la forme de la relation de manière approfondie, l'étude récente de Wagner *et al.* (2023) réalisée en France observe une relation linéaire (modèle 1) et supra-linéaire (modèles 2 à 4) avec le risque de décès (toutes causes non accidentelles et de causes cardiovasculaires) et d'hospitalisations (cardiaques et respiratoires). Par exemple, une augmentation de  $10 \mu g.m^{-3}$  de la concentration journalière en  $PM_{10}$  est associée à une augmentation de 0,6 % [0,4 ; 0,9] de la mortalité non accidentelle avec le modèle linéaire (modèle 1). Les points de rupture optimaux (modèle 3) variaient entre 20 et  $50 \mu g/m^3$  pour les  $PM_{10}$ , selon l'indicateur sanitaire considéré, la valeur la plus élevée étant observée pour les hospitalisations pour causes respiratoires. L'association entre la concentration de  $PM_{10}$  et la mortalité non accidentelle augmentait de manière linéaire jusqu'à des concentrations d'environ  $30 \mu g.m^{-3}$ , puis s'aplanissait à des niveaux plus élevés. Une augmentation de  $10 \mu g.m^{-3}$  de  $PM_{10}$  était associée à une hausse de 0,9 % [0,5 ; 1,2] de la mortalité non accidentelle en dessous de  $50 \mu g.m^{-3}$ . Au-delà de  $50 \mu g.m^{-3}$ , l'augmentation de la concentration d'exposition aux  $PM_{10}$  n'entraînait pas d'augmentation supplémentaire de la mortalité non accidentelle (modèle 2). Enfin, une augmentation des  $PM_{10}$  de 20 à  $30 \mu g.m^{-3}$  était associée à une hausse de 0,8 % [0,4 ; 1,2] de la mortalité, tandis qu'une augmentation de 60 à  $70 \mu g.m^{-3}$  n'était pas associée à une augmentation supplémentaire de la mortalité (modèle 4). Des tendances similaires ont été observées pour la mortalité cardiovasculaire, ainsi que pour les hospitalisations d'origine cardiaque et respiratoire. Une hétérogénéité faible à modérée a été observée entre les villes ( $I^2 < 36 \%$ ).

En utilisant une relation linéaire, les auteurs estiment que 8 844 [IC<sub>95 %</sub> : 5 918 ; 13 194] décès non accidentels étaient attribuables à l'exposition de court terme aux  $PM_{10}$  entre 2007 et 2015, dont 19 % imputables à des concentrations dépassant le seuil d'information. En utilisant un modèle linéaire par morceaux (modèle 3), cet impact s'élevait à 16 395 [IC<sub>95 %</sub> : 8 313 ; 24 019] décès, dont 10 % attribuables à des concentrations dépassant le seuil d'information. Des tendances similaires ont été observées pour la mortalité cardiovasculaire et les hospitalisations : le modèle linéaire par morceaux estimait 2,1 fois plus d'hospitalisations pour causes cardiaques et 1,6 fois plus d'hospitalisations pour causes respiratoires qu'un modèle linéaire, ainsi qu'une contribution moindre des concentrations les plus élevées.

Les fractions de décès prématurés et d'hospitalisations attribuables aux différents seuils de concentration calculées à partir de l'étude de Wagner *et al.* (2023) (Tableau 3) sont plus élevées avec le modèle linéaire par morceaux (modèle 3) qu'avec le modèle linéaire (modèle 1), pour les valeurs de concentration inférieures ou égales au SIR français et à l'objectif

intermédiaire IT-4 de  $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ . Les résultats issus du modèle 3 montrent une absence ou quasi-absence d'augmentation de la fraction attribuable au-delà de la valeur guide de l'OMS de  $45 \mu\text{g.m}^{-3}$ . Ces résultats suggèrent que le principal bénéfice potentiel de réduction de la fraction attribuable à la concentration d'exposition aux  $\text{PM}_{10}$  se situerait en dessous de la valeur guide de l'OMS de  $45 \mu\text{g.m}^{-3}$  et bien en-dessous du seuil d'information européen de  $90 \mu\text{g.m}^{-3}$ . Cette approche s'appuie sur une hypothèse de stabilité de la forme de la relation concentration–risque dans le temps, et quels que soient les seuils d'information et d'alerte en vigueur.

**Tableau 3. Fraction en % de décès prématurés et d'hospitalisations attribuable à la concentration d'exposition aux  $\text{PM}_{10}$  (lag 0-1) dans 18 villes en France sur la période 2007-2017 (calculée à partir de Wagner et al. 2023)**

		Modèle linéaire par morceaux de Wagner <i>et al.</i> 2023 (modèle 3)			Modèle linéaire de Wagner <i>et al.</i> 2023 (modèle 1)		
Type de seuil / Valeurs guides	Concentration (µg/m³)	Fraction attribuable (%)	Fraction attribuable IC95% borne inf (%)	Fraction attribuable IC95% borne sup (%)	Fraction attribuable (%)	Fraction attribuable IC95% borne inf (%)	Fraction attribuable IC95% borne sup (%)
Mortalité toutes causes non accidentelles							
Conc.moy24h (18 villes)*	24	3	2	5	2	1	2
WHO AQG	45	4	3	6	3	2	4
SIR FR & WHO IT-4	50	4	3	6	3	2	5
WHO IT-3	75	4	3	6	5	3	7
SIR UE	90	4	3	6	6	3	8
WHO IT-2	100	4	2	7	6	4	9
WHO IT-1	150	5	1	8	9	5	13
Mortalité causes cardiovasculaires							
Conc.moy24h (18 villes)*	24	5	2	7	2	1	3
WHO AQG	45	6	3	9	3	1	5
SIR FR & WHO IT-4	50	6	3	9	3	1	5
WHO IT-3	75	6	2	8	5	2	8
SIR UE	90	5	2	9	6	2	10
WHO IT-2	100	5	1	9	7	2	11
WHO IT-1	150	4	0 **	11	10	3	15
Hospitalisations causes cardiaques							
Conc.moy24h (18 villes)*	24	3	1	5	1	1	2
WHO AQG	45	4	2	6	2	1	4
SIR FR & WHO IT-4	50	4	2	6	3	1	4
WHO IT-3	75	5	2	7	4	2	6
SIR UE	90	5	2	7	5	2	7
WHO IT-2	100	5	2	8	5	2	8
WHO IT-1	150	6	2	9	7	3	11
Hospitalisations causes respiratoires							
Conc.moy24h (18 villes)*	24	2	2	4	1	0	2
WHO AQG	45	3	2	5	2	1	4
SIR FR & WHO IT-4	50	3	1	5	2	1	4
WHO IT-3	75	1	0 **	3	4	1	6
SIR UE	90	0 **	0 **	2	4	1	7
WHO IT-2	100	0 **	0 **	1	5	2	8
WHO IT-1	150	0 **	0 **	0 **	7	2	12

Lag 0-1 : L'exposition correspond à la moyenne des concentrations en polluants du jour de l'évènement de santé (hospitalisation, décès) et du jour précédant l'évènement de santé.

\* Conc. moy24h (18 villes) : Concentration moyenne 24h mesurée sur 18 villes en France sur la période 2007-2017 et pondérée sur le nombre moyen journalier de décès non accidentels dans chacune des 18 villes (calculée à partir des données de Wagner et al. 2023).

\*\* Valeur de FA négative (car risque relatif < 1 dans l'étude de Wagner et al. 2023) tronquée à 0.

Les résultats du modèle linéaire par morceaux pour les hospitalisations respiratoires sont issus du modèle 2 d WHO AQG : World Health Organization Air Quality Guidelines (lignes directrices de l'OMS sur la qualité de l'air) WHO-IT : World Health Organization Interim Target (objectifs intermédiaires de l'OMS)



### 3.2.3.Ozone (O<sub>3</sub>)

L'exposition à court terme à l'ozone est associée à différents effets respiratoires avec une relation causale avérée (EPA 2020). Le détail des associations soutenant cette conclusion du rapport ISA de l'EPA, issues d'études épidémiologiques, d'expositions humaines contrôlées conduites chez des sujets sains ou chez des patients atteints de maladies respiratoires (asthme, BPCO) et des études toxicologiques, ainsi que les concentrations la plus faible et la plus forte en ozone associées à chaque effet sanitaire sont décrits dans l'avis de l'Anses de 2021.

En synthèse, s'agissant des effets respiratoires liés à une exposition à court terme à l'ozone, il est observé :

- Une augmentation des hospitalisations et des passages aux urgences pour toutes les maladies respiratoires, telles que l'asthme ou la BPCO, ainsi que pour des infections respiratoires. Les concentrations d'exposition étaient des concentrations moyennes journalières ou des concentrations moyennes ou maximales sur 1 ou 8h allant de 37 à 110  $\mu\text{g.m}^{-3}$ .
- Une augmentation de la mortalité avec des concentrations moyennes journalières ou des concentrations moyennes maximales sur 1h ou sur 8h allant de 13,4 à 125,6  $\mu\text{g.m}^{-3}$ .
- Une baisse de la fonction respiratoire, une augmentation des symptômes respiratoires ainsi qu'une inflammation pulmonaire, que ce soit chez des sujets en bonne santé ou chez des patients asthmatiques. Certaines études chez des sujets sains documentent une augmentation de la réactivité des voies respiratoires, des lésions pulmonaires et du stress oxydant. Les concentrations moyennes d'exposition sur 1 à 8h allaient de 63 à 246  $\mu\text{g.m}^{-3}$  et de 120 à 2000  $\mu\text{g.m}^{-3}$  sur 2 à 18h.
- Une altération des paramètres ventilatoires, une augmentation de la réponse allergique, une toux, une bronchoconstriction, une augmentation de la réactivité des voies respiratoires, des lésions pulmonaires, et une inflammation, un stress oxydant et une réponse immunitaire de type 2 des voies respiratoires inférieures et supérieures dans les études toxicologiques incluant des études chez l'animal. Les conditions d'exposition de ces études toxicologiques varient de 30 minutes, quelques heures (3 ou 4h), jusqu'à 10 jours à des concentrations moyennes plus élevées allant de 200 à 4000  $\mu\text{g.m}^{-3}$ .

En plus des effets respiratoires, l'exposition à court terme à l'ozone est également associée à des effets métaboliques avec une relation causale probable. Une étude épidémiologique a montré que l'exposition à l'ozone était associée à une augmentation des indicateurs d'altération du glucose et de l'homéostasie glucidique (HOMA-IR, dyslipidémie, taux d'HbA1c, glycémie à jeun) avec une concentration moyenne sur 5 jours de 53,6  $\mu\text{g.m}^{-3}$ . Une étude d'exposition humaine contrôlée a montré que l'exposition à l'ozone était associée à une formation de corps cétoniques, à une augmentation des acides gras, du cortisol et de la corticostérone avec une concentration sur 2 heures en ozone de 600  $\mu\text{g.m}^{-3}$ . Des études toxicologiques également ont montré que l'ozone était associé à une intolérance au glucose et à une résistance à l'insuline, à une augmentation du triglycéride et des acides gras ainsi

qu'à une augmentation de la corticostérone et de l'adrénaline avec des concentrations allant de 500 à 2000  $\mu\text{g.m}^{-3}$  pour une durée d'exposition allant de 3 à 5 heures.

Les concentrations les plus faibles et les plus fortes en ozone associées à des effets sanitaires démontrées par les études épidémiologiques sont présentées dans la Figure 3 et celles démontrées par les études d'exposition humaine contrôlée et les études toxicologiques sont présentées dans la Figure 4.

Les seuils d'information et d'alerte européens pour l'ozone sont respectivement des concentrations maximales horaires de 180  $\mu\text{g.m}^{-3}$  et de 240  $\mu\text{g.m}^{-3}$ , cette dernière étant mesurée ou prévue sur 3h consécutives. Dans les données présentées précédemment :

- L'ensemble des études épidémiologiques mettent en avant des effets sur la santé pour des concentrations inférieures aux seuils, hormis pour la concentration maximale associée à la baisse de la fonction ventilatoire qui est proche (246  $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) (Figure 3 ci-dessous et Tableau 2 en Annexe 5 de l'avis de 2021 (Anses, 2021)).
- Plusieurs études d'exposition humaine contrôlée et une étude toxicologique observent des effets respiratoires associés à des concentrations minimales comprises entre 120  $\mu\text{g.m}^{-3}$  et 160  $\mu\text{g.m}^{-3}$  sur l'ensemble des concentrations en ozone associées à des effets sanitaires (Figure 4 ci-dessous et Tableau 2 en Annexe 5 de l'avis de 2021 (Anses, 2021)). Par rapport au seuil d'alerte, une seule étude d'expérimentation animale observe des effets à des concentrations inférieures à ce seuil : (altération des paramètres ventilatoires à 200  $\mu\text{g.m}^{-3}$ ). Cependant, il convient de noter la différence de méthode et la non-transposition directe de l'animal à l'humain dans ces études.

D'après la revue systématique d'Orellano *et al.* (2020), de nombreuses études ont observé une relation non linéaire entre l'exposition à court terme à l'ozone et la mortalité, avec des concentrations d'apparition d'effet se situant dans l'intervalle 60-100  $\mu\text{g.m}^{-3}$ .

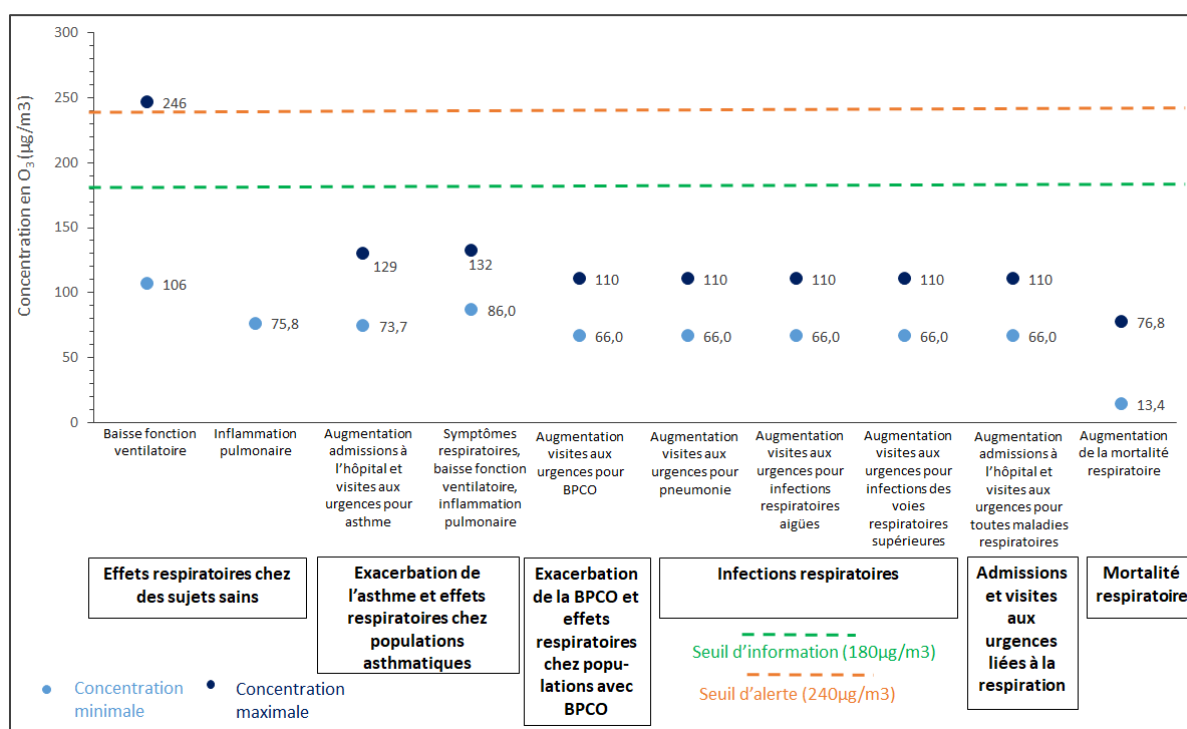
Parmi les quelques études ayant investigué la forme de la relation de manière approfondie, l'étude récente de Wagner *et al.* (2023), réalisée en France, observe une relation non linéaire avec la mortalité (toutes causes non accidentelles et de causes cardiovasculaires) et les hospitalisations (cardiaques et respiratoires). Avec les approches non linéaires, une augmentation du risque de mortalité et d'hospitalisations est observée à partir d'un seuil variant entre 90 et 120  $\mu\text{g.m}^{-3}$  selon l'indicateur sanitaire étudié. Par exemple, en dessous de 120  $\mu\text{g.m}^{-3}$ , une augmentation de 10  $\mu\text{g.m}^{-3}$  de la concentration maximale 8h journalière en ozone était associée à une hausse de 0,4 % [IC 95 % : 0,2 ; 0,6] de la mortalité non accidentelle, tandis qu'au-delà de 120  $\mu\text{g.m}^{-3}$ , elle était associée à une augmentation de 2,2 % [IC 95 % : 1,7 ; 2,8] de cette même mortalité. Un schéma similaire a été observé avec le modèle 3, suggérant un point de rupture à 90  $\mu\text{g.m}^{-3}$ , ainsi qu'avec un modèle à spline. Une hétérogénéité modérée a été observée entre les villes pour l'ozone ( $I^2 < 48$  %).

En utilisant la relation linéaire, les auteurs estiment que 37 863 [IC<sub>95</sub> % : 30 411 ; 52 604] décès étaient attribuables à l'ozone entre 2000 et 2015, dont 13 % imputables à des concentrations dépassant le seuil de 120  $\mu\text{g.m}^{-3}$  en concentration maximale 8h journalière. Le modèle non linéaire a conduit à un impact plus faible (23 488 [IC<sub>95</sub> % : 7 685 ; 32 262] décès) et à une influence plus marquée des concentrations les plus élevées de 28,9 % attribuable à des

concentrations supérieures au seuil de  $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Un schéma similaire a été observé pour la mortalité cardiovasculaire. Aucun impact n'a été mis en évidence pour les hospitalisations pour causes cardiaques. Sous une hypothèse non linéaire, le nombre d'hospitalisations pour causes respiratoires attribuables était sept fois plus faible que sous une hypothèse linéaire, et entièrement attribuable à des concentrations supérieures au seuil de  $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Les fractions de décès prématurés et d'hospitalisations attribuables aux différents seuils de concentration calculées à partir de l'étude de Wagner *et al.* (2023) (Tableau 4) sont plus faibles et parfois nulles avec le modèle linéaire par morceaux (modèle 3) par rapport au modèle linéaire (modèle 1), pour les valeurs de concentration inférieures ou égales à la valeur guide de l'OMS de  $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Les résultats issus du modèle 3 montrent une augmentation beaucoup plus forte de la fraction attribuable pour des concentrations supérieures à la valeur guide de l'OMS de  $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Cette approche s'appuie sur une hypothèse de stabilité de la forme de la relation concentration – risque dans le temps, et quels que soient les seuils d'information et d'alerte en vigueur.

A noter que ces résultats de Wagner *et al.* (2023) sont exprimés pour une concentration maximale 8h journalière d'ozone et ne sont donc pas directement comparables aux SIR et SA français et européens qui sont exprimés en concentration moyenne horaire.



**Figure 3. Concentrations en  $\text{O}_3$  la plus faible et la plus forte sur une durée d'exposition d'une heure maximum associées à des effets respiratoires dans les études épidémiologiques (données extraites de (EPA 2020) et de Wagner *et al.* (2023)).**

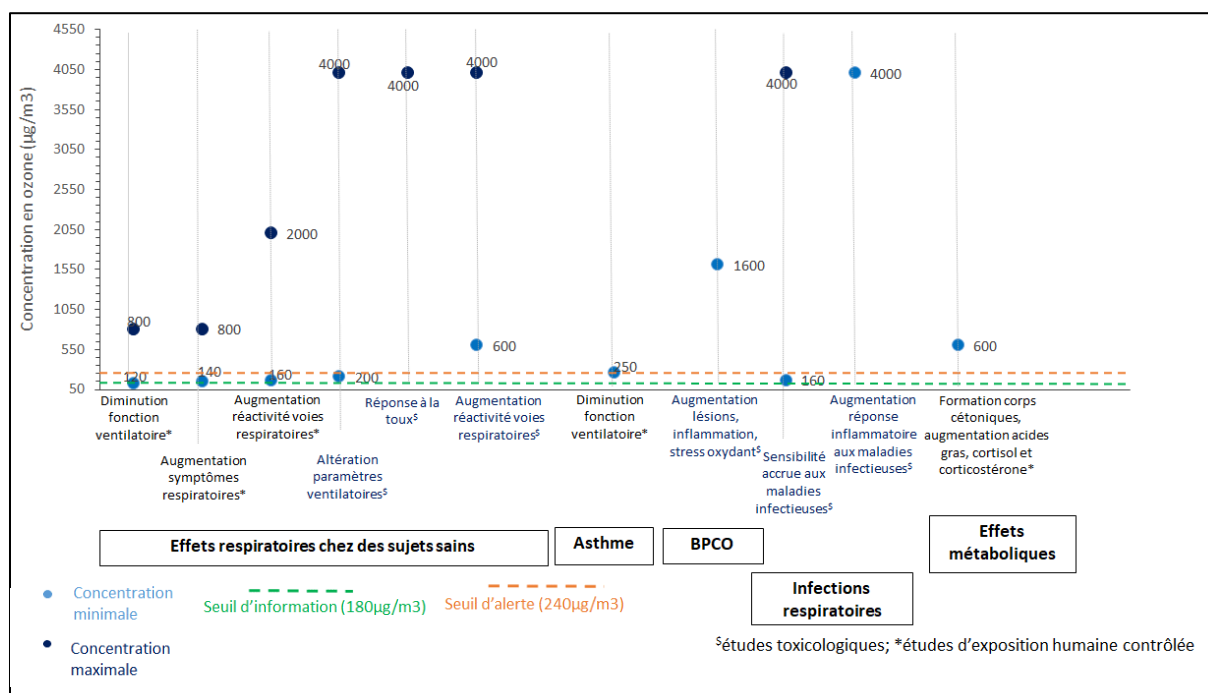


Figure 4. Concentrations en O<sub>3</sub> la plus faible et la plus forte sur une durée d'exposition allant de 30min à 6,6h associées à des effets respiratoires et métaboliques dans les études toxicologiques et les études d'exposition humaine contrôlée (données extraites de (EPA 2020)).

Tableau 4. Fraction en % de décès prématurés et d'hospitalisations attribuable à la concentration d'exposition à l'O<sub>3</sub> (lag 0-1) dans 18 villes en France sur la période 2000-2017 (calculée à partir de Wagner *et al.* (2023))

		Modèle linéaire par morceaux de Wagner <i>et al.</i> 2023 (modèle 3)			Modèle linéaire de Wagner <i>et al.</i> 2023 (modèle 1)		
Type de seuil / Valeurs guides	Concentration (µg/m³)	Fraction attribuable (%)	Fraction attribuable IC95% borne inf (%)	Fraction attribuable IC95% borne sup (%)	Fraction attribuable (%)	Fraction attribuable IC95% borne inf (%)	Fraction attribuable IC95% borne sup (%)
Mortalité toutes causes non accidentelles							
Conc.moymax8h (18 villes)*	65	1	0	2	3	2	4
WHO AQG	100	3	1	5	5	3	6
WHO IT-2	120	5	3	7	6	4	7
WHO IT-1	160	11	8	13	7	5	10
Mortalité causes cardiovasculaires							
Conc.moymax8h (18 villes)*	65	1	0 **	3	4	0	6
WHO AQG	100	3	1	6	6	0	8
WHO IT-2	120	6	4	9	8	0	10
WHO IT-1	160	14	11	18	10	1	13
Hospitalisations causes cardiaques							
Conc.moymax8h (18 villes)*	65	0 **	0 **	0	1	1	5
WHO AQG	100	0 **	0 **	1	2	2	8
WHO IT-2	120	0	0 **	2	2	2	9
WHO IT-1	160	3	0	5	3	3	12
Hospitalisations causes respiratoires							
Conc.moymax8h (18 villes)*	65	0	0 **	2	1	0	3
WHO AQG	100	0 **	0 **	2	2	0	4
WHO IT-2	120	2	0	4	2	0	5
WHO IT-1	160	13	8	17	3	0	6

Lag 0-1 : L'exposition correspond à la moyenne des concentrations en polluants du jour de l'évènement de santé (hospitalisation, décès) et du jour précédant l'évènement de santé.

\* Conc. moymax8h (18 villes) : Concentration moyenne des maximales 8h journalières mesurées sur 18 villes en France sur la période 2000-2017 et pondérée sur le nombre moyen journalier de décès non accidentels dans

chacune des 18 villes (calculée à partir des données de Wagner et al. 2023)

\*\* Valeur de FA négative (car risque relatif < 1 dans l'étude de Wagner et al. 2023) tronquée à 0. Les résultats du modèle linéaire par morceaux pour les hospitalisations respiratoires sont issus du modèle 2 de Wagner et al. 2023, en l'absence de résultats disponibles avec le modèle 3.

WHO AQG : World Health Organization Air Quality Guidelines (lignes directrices de l'OMS sur la qualité de l'air)

WHO-IT : World Health Organization Interim Target (objectifs intermédiaires de l'OMS)

### 3.2.4. Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)

L'exposition à court terme au NO<sub>2</sub> est associée principalement à des effets respiratoires avec une relation causale avérée (EPA 2016). Le détail des associations soutenant cette conclusion du rapport ISA de l'EPA, issues d'études épidémiologiques ou d'expositions humaines contrôlées chez des sujets sains ou chez des patients atteints de BPCO, ainsi que d'études toxicologiques, est décrit dans l'avis de l'Anses de 2021.

En synthèse, il est observé :

- Une augmentation des hospitalisations et des passages aux urgences liés à l'asthme, à la BPCO ou à des infections respiratoires. Les concentrations moyennes d'exposition étaient des moyennes journalières ou horaires allant de 6,5 à 144 µg.m<sup>-3</sup>.
- Une association entre l'exposition au NO<sub>2</sub> et la mortalité respiratoire (avec des concentrations moyennes journalières allant de 25,81 à 106,1 µg.m<sup>-3</sup>) et une mortalité par infection bactérienne ou virale chez des modèles animaux suite à une exposition à des concentrations en NO<sub>2</sub> allant de 2868 à 9560 µg.m<sup>-3</sup> sur une durée d'exposition allant de 1 à 7,5h.
- Une baisse de la fonction ventilatoire, une augmentation de la réactivité des voies respiratoires, une inflammation pulmonaire ou des symptômes respiratoires, que ce soit chez des sujets sains ou atteints de BPCO. Les concentrations moyennes d'exposition allaient de 191,2 à 1111 µg.m<sup>-3</sup> pour une durée d'exposition de 30min à 6h et de 382,4 à 7648 µg.m<sup>-3</sup> pour une durée d'exposition allant de 20min à 5h.

Les concentrations la plus faible et la plus forte en NO<sub>2</sub> associées à des effets sanitaires, pour un pas de temps équivalent ou proche de celui des seuils proposés, sont présentées dans la Figure 5 pour les études épidémiologiques et dans la Figure 6 pour les études d'exposition humaine contrôlée et les études toxicologiques.

Le seuil d'information et le seuil d'alerte européens pour le NO<sub>2</sub> sont respectivement des concentrations moyennes horaires de 150 µg.m<sup>-3</sup> et de 200 µg.m<sup>-3</sup> mesurée sur 3 heures consécutives pour cette dernière. Dans les données présentées précédemment :

- Les études épidémiologiques mettent en avant des effets sur la santé pour des concentrations inférieures aux seuils, la concentration de 144 µg.m<sup>-3</sup> liée à une baisse de la fonction ventilatoire, à de l'inflammation et des symptômes respiratoires étant néanmoins proche du seuil d'information (Figure 5 et Tableau 3 en Annexe 5 de l'avis de 2021 (Anses, 2021)).
- Une seule étude d'exposition humaine contrôlée qui observe des effets respiratoires à une concentration de 191,2 µg.m<sup>-3</sup> inférieure au seuil d'alerte, sur l'ensemble des études d'exposition humaines contrôlées et études toxicologiques (Figure 6 et Tableau

3 en Annexe 5 de l'avis de 2021 (Anses, 2021)). Cependant, ces associations informent uniquement sur la présence, ou non, d'un effet, sans fournir d'informations sur l'amplitude du risque par rapport aux seuils d'information et d'alerte.

D'après la revue systématique d'Orellano (Orellano *et al.* 2020), certaines études ont observé une relation non linéaire entre la concentration de NO<sub>2</sub> (moyenne 24 heures) et la mortalité à court terme, avec un seuil potentiel d'apparition d'effet se situant à 37,6 µg.m<sup>-3</sup>.

Selon l'étude de Wagner *et al.* (2023), les résultats montrent une relation supra-linéaire, similaire à celle observée pour les PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>10</sub>, avec une augmentation marquée aux faibles concentrations moyennes journalières, suivie d'un aplatissement des pentes aux concentrations plus élevées, et ce pour tous les indicateurs de santé (mortalité non accidentelle et cardiovasculaire, hospitalisations pour causes cardiaques et respiratoires). Par exemple, sous l'hypothèse linéaire, une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> de NO<sub>2</sub> était associée à une hausse de 0,9 % [0,6 : 1,2] de la mortalité non accidentelle (modèle 1). Le modèle linéaire par morceaux (modèle 3) indiquait un point de rupture à 30 µg/m<sup>3</sup>, avec une augmentation de 2,2 % [1,6 : 2,9] de la mortalité non accidentelle en dessous de cette concentration. Une hétérogénéité modérée a été constatée entre les villes pour le NO<sub>2</sub> et les admissions hospitalières pour causes respiratoires (I<sup>2</sup> variant entre 32 % et 48 % selon le modèle). A noter que la mesure de concentration dans cette étude, en moyenne journalière, ne permet pas de comparaison directe avec les SIR et SA fixés en concentration horaire.

Les fractions de décès prématurés et d'hospitalisations attribuables aux différents seuils de concentration calculées à partir de l'étude de Wagner *et al.* (2023) (Tableau 5) sont globalement plus élevées avec le modèle linéaire par morceaux (modèle 3) qu'avec le modèle linéaire (modèle 1), en particulier pour les valeurs de concentration inférieures ou égales à la valeur OMS IT-2 de 50 µg.m<sup>-3</sup>. Les résultats issus du modèle 3 montrent une absence d'augmentation ou une très faible augmentation de la fraction attribuable au-delà de la valeur OMS IT-2 de 50 µg.m<sup>-3</sup>. Ces résultats suggèrent que le principal bénéfice potentiel de réduction de la fraction attribuable à la concentration d'exposition aux NO<sub>2</sub> se situerait en dessous de la valeur OMS IT-2 de 50 µg.m<sup>-3</sup>. Cette approche s'appuie sur une hypothèse de stabilité de la forme de la relation concentration –risque dans le temps, et quels que soient les seuils d'information et d'alerte en vigueur.

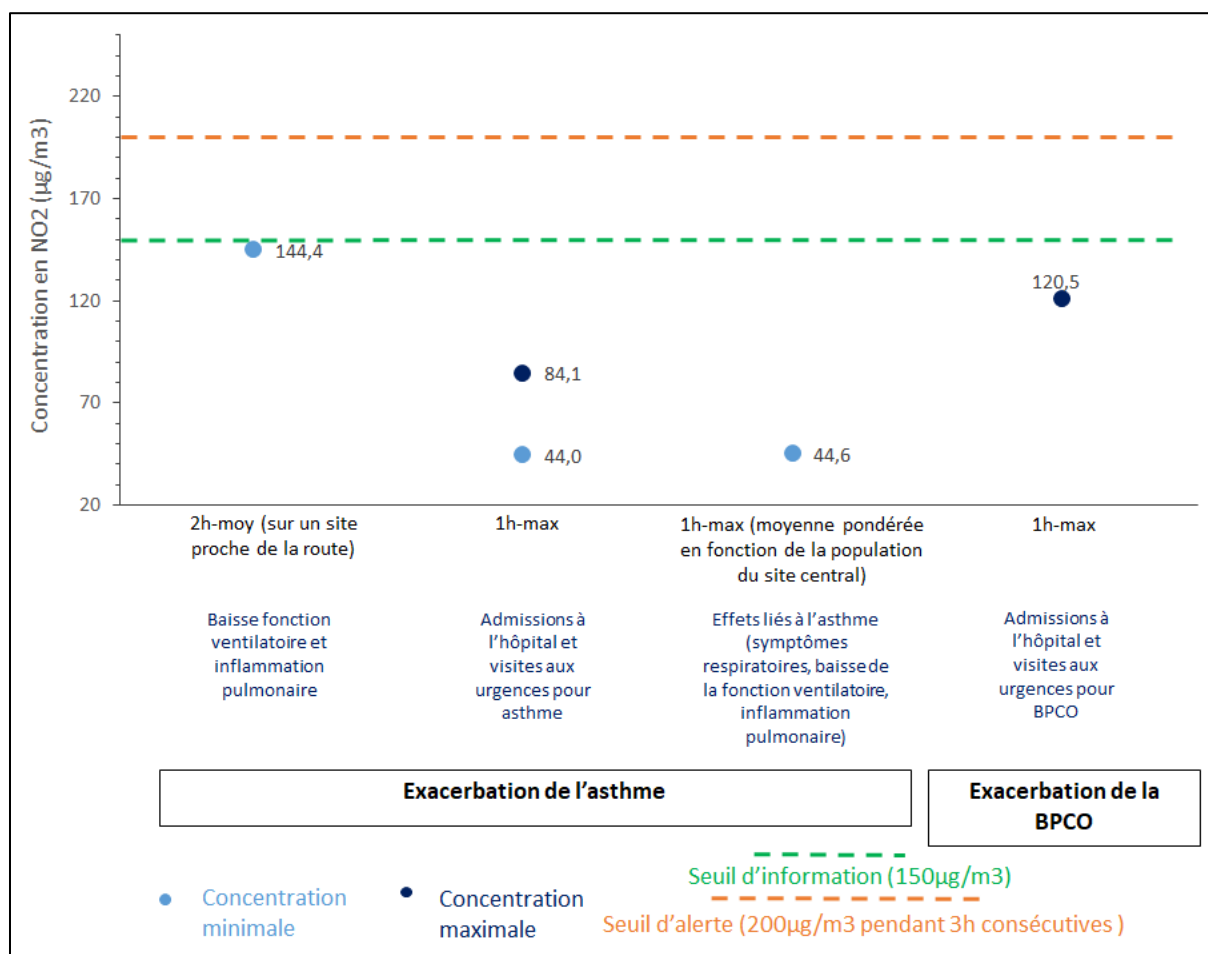


Figure 5. Concentrations en NO<sub>2</sub> la plus faible et la plus forte sur une durée d'exposition d'1h maximum ou 2h en moyenne associées à des effets respiratoires dans les études épidémiologiques (données extraites de (EPA 2016)).

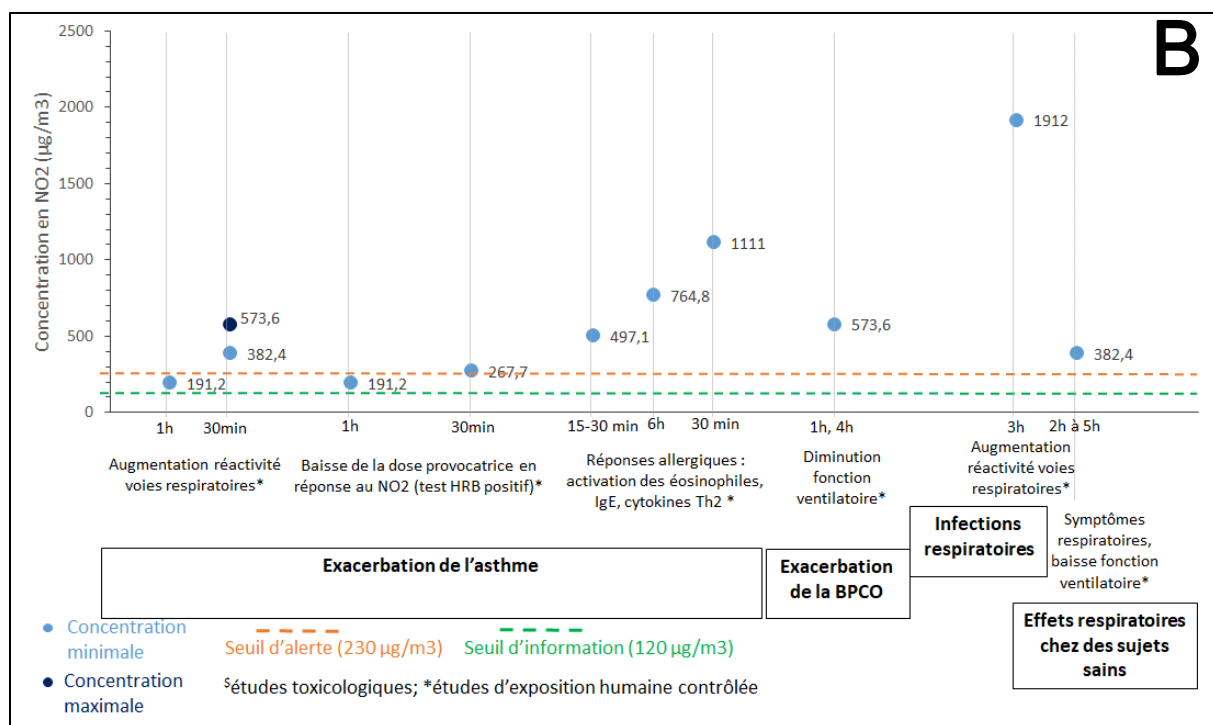
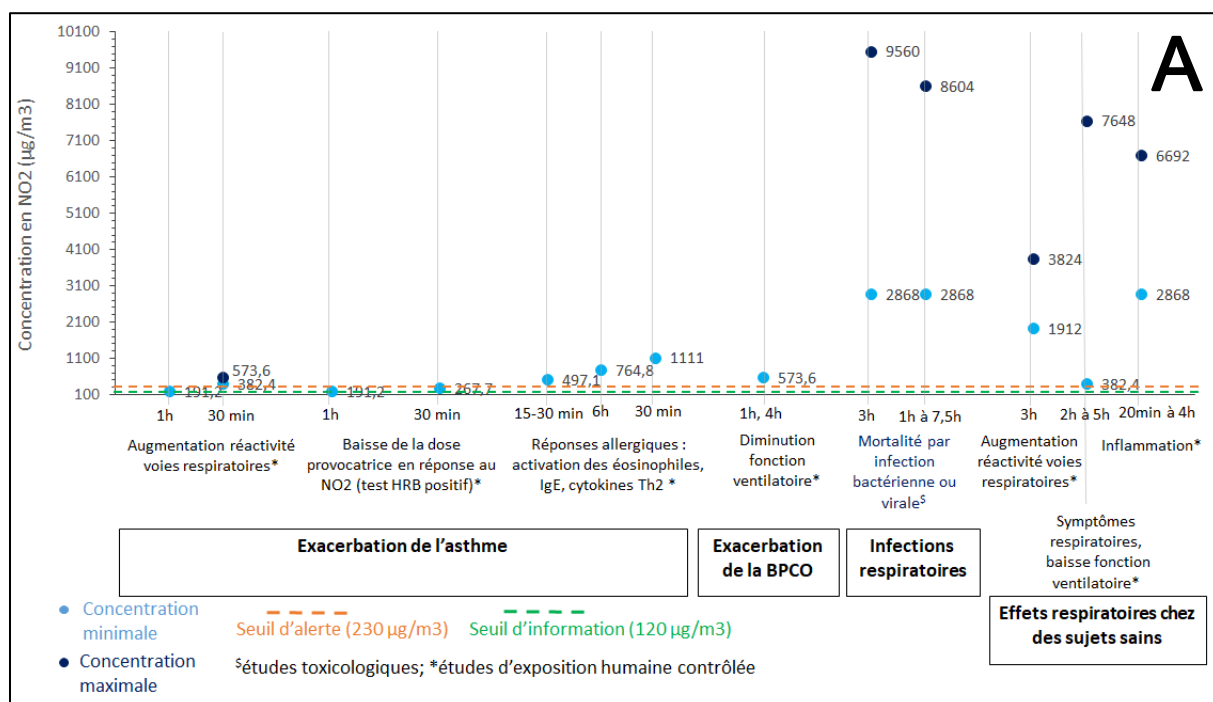


Figure 6. Concentration en NO<sub>2</sub> la plus faible et la plus forte sur une durée d'exposition allant de 15 min à 7,5 h associée à des effets respiratoires dans les études toxicologiques et les études d'exposition humaine contrôlée. A : toutes les gammes de concentrations ; B : concentrations inférieures à 2000 µg/m<sup>3</sup> (données extraites de (EPA 2016)).



**Tableau 5. Fraction en % de décès prématurés et d'hospitalisations attribuable à la concentration d'exposition au NO<sub>2</sub> (lag 0-1) dans 18 villes en France sur la période 2007-2017 (calculée à partir de Wagner *et al.* (2023))**

		Modèle linéaire par morceaux de Wagner <i>et al.</i> 2023 (modèle 3)			Modèle linéaire de Wagner <i>et al.</i> 2023 (modèle 1)		
Type de seuil / Valeurs guides	Concentration (µg/m³)	Fraction attribuable (%)	Fraction attribuable IC95% borne inf (%)	Fraction attribuable IC95% borne sup (%)	Fraction attribuable (%)	Fraction attribuable IC95% borne inf (%)	Fraction attribuable IC95% borne sup (%)
Mortalité toutes causes non accidentelles							
WHO AQG	25	5	4	7	2	1	3
Conc.moy24h (18 villes)*	29	6	4	7	2	2	3
WHO IT-2	50	7	5	9	4	3	6
WHO IT-1	120	7	4	10	10	6	13
Mortalité causes cardiovasculaires							
WHO AQG	25	10	6	14	3	1	4
Conc.moy24h (18 villes)*	29	11	7	15	3	1	5
WHO IT-2	50	12	8	16	6	2	9
WHO IT-1	120	15	9	21	12	5	19
Hospitalisations causes cardiaques							
WHO AQG	25	4	3	6	2	1	3
Conc.moy24h (18 villes)*	29	5	3	6	2	2	3
WHO IT-2	50	6	4	8	4	3	5
WHO IT-1	120	6	3	10	9	6	12
Hospitalisations causes respiratoires							
WHO AQG	25	11	9	13	2	2	3
Conc.moy24h (18 villes)*	29	12	10	14	3	2	4
WHO IT-2	50	12	10	15	5	3	6
WHO IT-1	120	13	7	18	11	7	14

Lag 0-1 : L'exposition correspond à la moyenne des concentrations en polluants du jour de l'évènement de santé (hospitalisation, décès) et du jour précédant l'évènement de santé.

\* Conc. moy24h (18 villes) : Concentration moyenne 24h mesurée sur 18 villes en France sur la période 2007-2017 et pondérée sur le nombre moyen journalier de décès non accidentels dans chacune des 18 villes (calculée à partir des données de Wagner *et al.* 2023).

WHO AQG : World Health Organization Air Quality Guidelines (lignes directrices de l'OMS sur la qualité de l'air)

WHO-IT : World Health Organization Interim Target (objectifs intermédiaires de l'OMS)

### 3.2.5.Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)

L'exposition à court terme au SO<sub>2</sub> est associée principalement à des effets respiratoires avec une relation classée comme causale avérée (EPA 2017). Le détail des associations soutenant cette conclusion du rapport ISA de l'EPA est décrit dans l'avis de l'Anses de 2021.

En synthèse, il est observé :

- Une augmentation des hospitalisations et des passages aux urgences liés à l'asthme
- Une augmentation de la mortalité respiratoire avec des concentrations moyennes journalières allant de 1,06 à 532 µg.m<sup>-3</sup>.

Chez des patients asthmatiques, des symptômes respiratoires, une baisse de la fonction ventilatoire, une diminution du volume expiratoire maximal par seconde (VEMS), et une augmentation des éosinophiles. Les concentrations moyennes journalières ou maximales horaires en SO<sub>2</sub> associées à ces effets allaient de 2,74 à

103,7  $\mu\text{g.m}^{-3}$  et de 532 à 5320  $\mu\text{g.m}^{-3}$  sur des pas de temps très courts de 5 à 10 minutes d'exposition.

Le Tableau 4 en Annexe 5 de l'avis de 2021 (Anses, 2021) décrit plus en détails les concentrations la plus faible et la plus forte en  $\text{SO}_2$  associées à chaque effet sanitaire. Les concentrations les plus faibles et les plus fortes en  $\text{SO}_2$  associées à des effets sanitaires, pour un pas de temps équivalent ou proche de celui des seuils proposés, sont présentées dans la Figure 7 pour les études épidémiologiques et dans la Figure 8 pour les études d'exposition humaine contrôlée.

Le seuil d'information et de recommandation et le seuil d'alerte européens pour le  $\text{SO}_2$  sont respectivement des concentrations moyennes horaires de 275  $\mu\text{g.m}^{-3}$  et 350  $\mu\text{g.m}^{-3}$  mesurées sur 3h consécutives. Dans les études épidémiologiques, les concentrations recensées y sont toutes inférieures. Ceci inclut des études sur des concentrations maximales horaires (26  $\mu\text{g/m}^3$ ) associées à une augmentation des hospitalisations et des passages aux urgences liés à l'asthme (tout âge) (Figure 7 ci-dessous et Tableau 4 en Annexe 5 de l'avis de 2021 (Anses, 2021)). Les concentrations en  $\text{SO}_2$  associées à des effets sanitaires dans les études d'exposition humaine contrôlée sont toutes supérieures à ces seuils (Figure 8 ci-dessous et Tableau 4 en Annexe 5 de l'avis de 2021 (Anses, 2021)). Cependant, comme pour les autres polluants, ces associations informent uniquement sur la présence, ou non, d'un effet, sans fournir d'informations sur l'amplitude du risque par rapport aux seuils d'information et d'alerte.

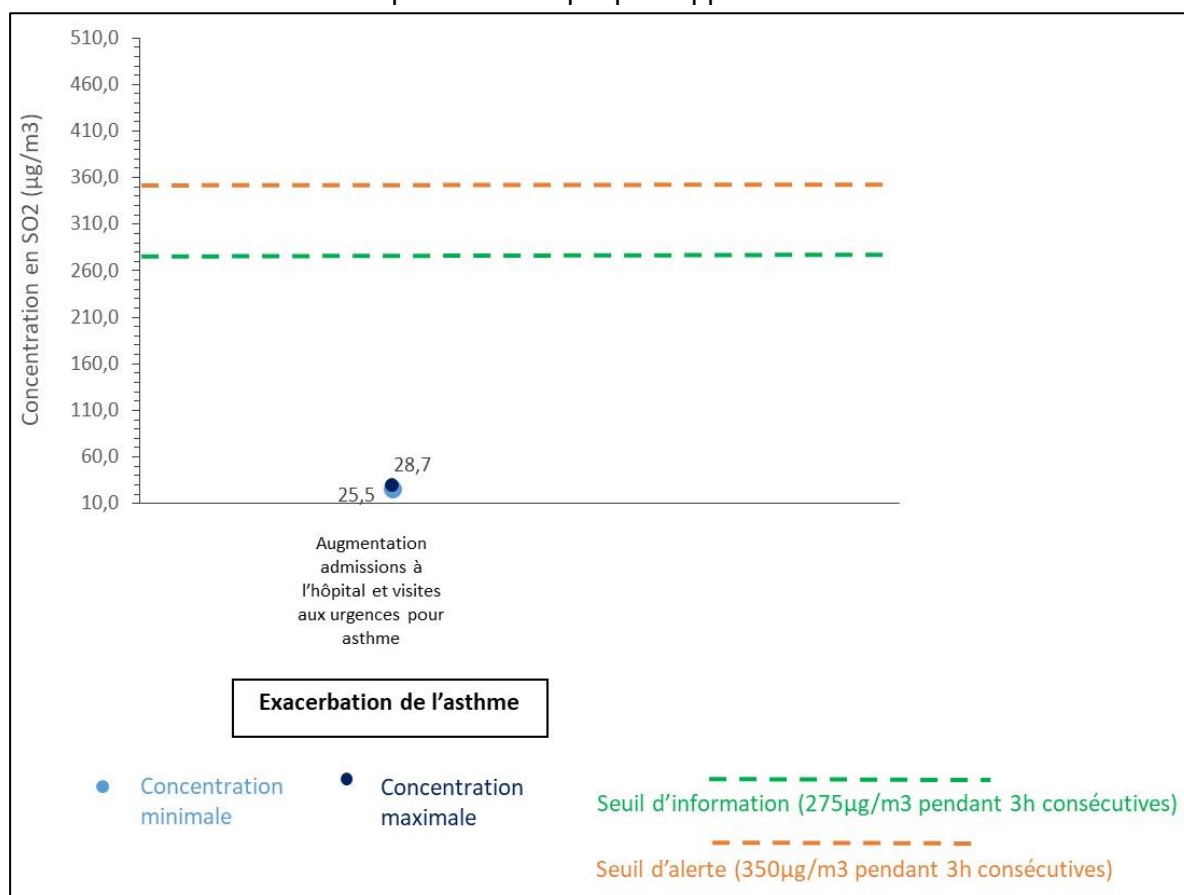


Figure 7. Concentration en  $\text{SO}_2$  la plus faible et la plus forte sur une durée d'exposition d'une heure maximum associée à des exacerbations de l'asthme dans les études épidémiologiques (données extraites de (EPA 2017)).

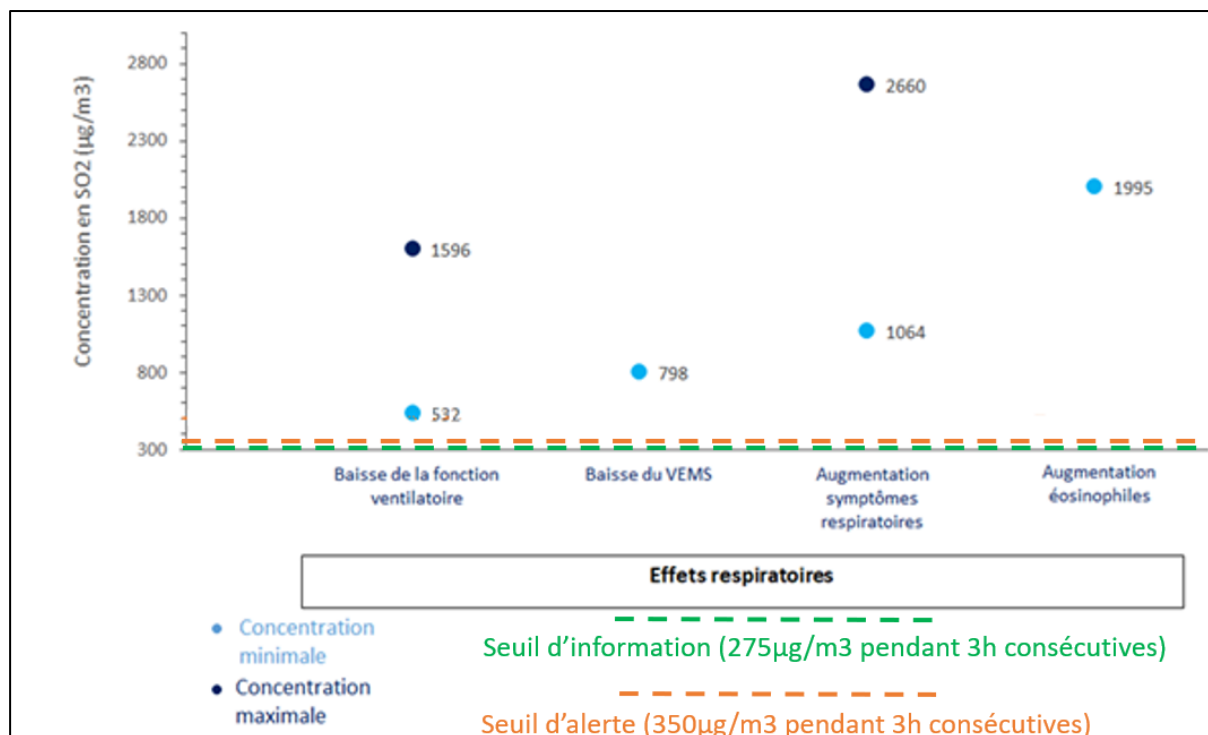


Figure 8. Concentration en SO<sub>2</sub> la plus faible et la plus forte sur une durée d'exposition allant de 5 à 10 min associée à des effets respiratoires dans les études d'exposition humaine contrôlée (données extraites de (EPA 2017)).

### 3.2.6. Conclusions

Dans les études épidémiologiques, des associations entre l'exposition journalière et/ou horaire selon le polluant et des effets néfastes sur la santé sont observées, en particulier sur : la mortalité toutes causes d'origine non accidentelle, les hospitalisations, les passages aux urgences et la mortalité pour causes respiratoires et cardiovasculaires. Pour les différents polluants, ces associations sont souvent observées pour des concentrations inférieures au seuil d'information et de recommandation et au seuil d'alerte, français comme européens.

Dans la littérature investiguant la forme de la relation, les modèles étudiés par Wagner *et al.* (2023) ont mis en évidence une supra-linéarité entre l'exposition aux PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub> et la mortalité et les hospitalisations pour causes spécifiques.

Ainsi, avec l'utilisation d'un modèle linéaire par morceaux, le principal bénéfice potentiel de réduction de la fraction attribuable à la concentration moyenne journalière d'exposition aux PM<sub>2,5</sub> se situerait en dessous de l'objectif intermédiaire de l'OMS IT-4 de 25 µg.m<sup>-3</sup> et bien en-dessous du seuil d'information européen de 50 µg.m<sup>-3</sup>. De même pour les PM<sub>10</sub>, le principal bénéfice se situerait en dessous de la valeur guide OMS de 45 µg.m<sup>-3</sup> et bien en-dessous du seuil d'information européen de 90 µg.m<sup>-3</sup>.

Pour l'O<sub>3</sub>, une relation non linéaire a été observée sur la mortalité et les hospitalisations respiratoires en population générale avec une pente plus importante pour des concentrations

maximales 8h journalière supérieures à 90-120  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , correspondant au point de rupture des modèles linéaires par morceaux qui varie selon l'indicateur sanitaire étudié. Plus généralement, des associations sont observées pour des concentrations en ozone inférieures au seuil d'information et de recommandation et au seuil d'alerte (au moins 66  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  en moyenne horaire), pour des symptômes respiratoires, une diminution de la fonction ventilatoire et une inflammation pulmonaire chez des enfants asthmatiques, une augmentation des passages aux urgences pour pneumonie, infection respiratoire aiguë, infection des voies respiratoires supérieures ou BPCO chez des patients atteints de BPCO sévère, une augmentation des hospitalisations et des passages aux urgences pour toutes maladies respiratoires (asthme, BPCO, bronchite, etc.).

Concernant le  $\text{NO}_2$ , des associations sont également observées pour des concentrations inférieures au seuil d'information et de recommandation et au seuil d'alerte (au moins 44  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne horaire) pour des effets liés à l'asthme (symptômes respiratoires, baisse de la fonction ventilatoire, inflammation pulmonaire, hospitalisations, visites d'urgence, hyperréactivité des voies respiratoires).

De même, pour le  $\text{SO}_2$  pour lequel, dans les études épidémiologiques, les concentrations recensées sont toutes inférieures aux seuils. Ceci inclut des études sur des concentrations maximales horaires (26  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) associées à une augmentation des hospitalisations et des passages aux urgences liés à l'asthme (tout âge).

Les concentrations en polluants associées à des effets sanitaires dans les études d'exposition humaine contrôlée et dans les études toxicologiques sont le plus souvent supérieures aux seuils d'information et d'alerte. Toutefois, des effets tels qu'une dysfonction endothéliale et une pression artérielle élevée ont été observés à une concentration en  $\text{PM}_{2,5}$  inférieure aux seuils en conditions expérimentales. De même, pour des concentrations en ozone et  $\text{NO}_2$  inférieures aux seuils, une baisse de la fonction ventilatoire, une hyperréactivité des voies respiratoires, une sensibilité accrue aux maladies infectieuses, une inflammation ou des symptômes respiratoires ont été observés. Cependant, cette mise en perspective ne doit pas être surinterprétée. En effet, la méthode de mesure des concentrations dans l'air ambiant utilisée pour la surveillance des dépassements de seuils d'information et d'alerte est sensiblement différente de celle utilisée dans ces études en conditions de laboratoire. Par ailleurs, les résultats des études chez l'animal ne sont pas directement transposables à l'humain.

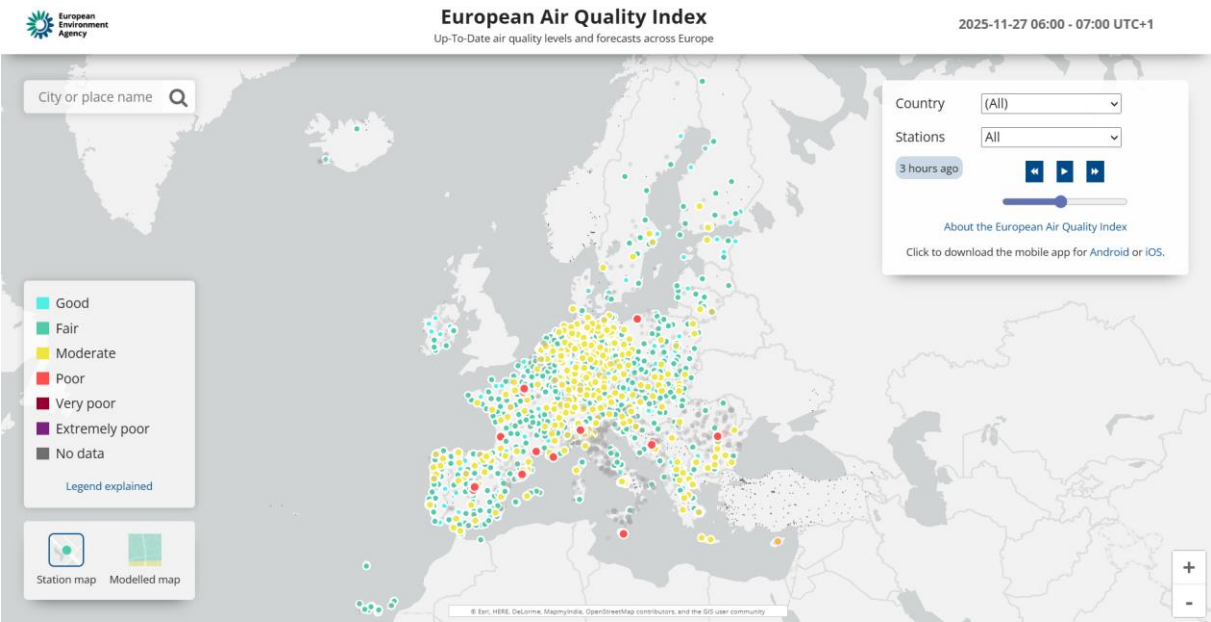
**En conclusion, le seuil d'information et de recommandation et le seuil d'alerte français et européens sont dans leur majorité supérieurs aux concentrations de polluants associées à des effets sanitaires liés à l'exposition à court terme à la pollution atmosphérique. Une diminution des seuils pour tous les polluants serait associée à un bénéfice sanitaire. Ce bénéfice serait potentiellement accru pour  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  et  $\text{NO}_2$ , en se basant notamment sur les résultats de l'étude de Wagner *et al.* (2023) qui montre une supra-linéarité de la relation entre la concentration de ces polluants et la mortalité et les hospitalisations avec une augmentation du risque plus forte aux plus faibles concentrations. Ces éléments ne sont par ailleurs pas en faveur d'une réhausse, pour les  $\text{PM}_{10}$ , des seuils français au niveau des seuils européens.**

### 3.3. Analyse de la méthode de construction des bornes de l'indice de qualité de l'air de l'européen

#### 3.3.1.Description de la méthode

L'indice européen de la qualité de l'air (en anglais *European Air Quality Index*, EAQI – cf. Figure 9) a pour objectif d'informer les citoyens sur la qualité de l'air de toutes les zones géographiques européennes. De ce fait, ses objectifs d'information et de communication se distinguent des objectifs de gestion des dépassements du seuil d'information et du seuil d'alerte.

Figure 9. Interface web de l'EAQI



Source : <https://airindex.eea.europa.eu/AQI/index.html> (consulté en décembre 2025)

Le niveau de l'indice, qualifiant la qualité de l'air de « *good* » (bon) à « *extremely poor* » (extrêmement mauvais), correspond au niveau calculé le plus défavorable parmi les cinq polluants considérés - PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> et SO<sub>2</sub> - sachant que tous ne sont pas mesurés à chaque station. Le Tableau 6 présente les bornes, pour chaque polluant, séparant chaque niveau d'indice.

Tableau 6. Indice européen de qualité de l'air

Pollutant	Reference time	Good	Fair	Moderate	Poor	Very poor	Extremely poor
PM <sub>2,5</sub>	1h	0-5	6-15	16-50	51-90	91-140	>140
PM <sub>10</sub>	1h	0-15	16-45	46-120	121-195	196-270	>270
O <sub>3</sub>	1h	0-60	61-100	101-120	121-160	161-180	>180
NO <sub>2</sub>	1h	0-10	11-25	26-60	61-100	101-150	>150
SO <sub>2</sub>	1h	0-20	21-40	41-125	126-190	191-275	>275

Source : González Ortiz *et al.* (2025), p.35.

D'après les informations disponibles sur le site web, l'indice est calculé toutes les heures et se compose de deux couches indépendantes<sup>13</sup> :

- La strate des stations : elle affiche des informations sur plus de 3500 stations de surveillance de la qualité de l'air à travers l'Europe à partir des données actualisées communiquées par les Etats membres à l'AEE (les données ne sont pas officiellement vérifiées par les pays). Si les données ne sont pas reportées pour une heure donnée, elles sont combinées aux prévisions du niveau de qualité de l'air obtenues à partir d'une réduction d'échelle des prévisions fournies par les données satellitaires du programme européen Copernicus (CAMS) (indiqué par un astérisque sur le site web). Les stations sont classées en fonction des sources d'émission prédominantes : trafic, industrie et fond (lorsque la principale source de pollution de la station n'est dominée ni par le trafic ni par l'industrie).
- La strate de la modélisation : elle affiche des informations pour chaque grille de 1 km x 1 km en Europe à l'aide d'une réduction d'échelle des prévisions fournies par le CAMS. Cela permet de déterminer un indice pour les endroits où il n'y a pas de stations de surveillance à proximité.

Par défaut, l'indice de qualité de l'air représente la situation avec un retard de 3 heures. Les utilisateurs peuvent sélectionner n'importe quelle heure au cours des 48 heures précédentes et afficher les valeurs de prévision pour les 48 heures suivantes.

La méthode de construction des bornes de l'EAQI a été mise à jour en juillet 2025 et est disponible sur le site de l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE) (González Ortiz *et al.* 2025). Une représentation schématique de cette méthode est proposée en Figure 10.

En résumé, cet indice est basé sur des valeurs guides et niveaux intermédiaires pour des expositions court et long termes de l'OMS publiés en 2021 et le concept des « risques relatifs » (RR) de la mortalité toutes causes (non accidentelles) liés à l'exposition aux différents polluants. Le niveau de l'indice traduit un niveau de qualité de l'air. Il reflète l'impact potentiel de la pollution de l'air sur la santé et est déterminé par le polluant dont la concentration induit le niveau d'indice le plus défavorable.

Les valeurs de concentration pour les polluants mesurés déterminent le niveau de l'indice qui reflète la qualité de l'air sur chaque station de mesure. Dans l'ancienne version de l'indice, les concentrations étaient exprimées en concentrations horaires pour le O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> et SO<sub>2</sub>, et en concentrations moyennes journalières pour les PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>. Depuis la mise à jour de juillet 2025, l'indice européen prend en compte des valeurs de concentrations horaires pour tous les polluants.

Les deux premiers niveaux de l'indice (« *good* » et « *fair* ») sont définis à partir des valeurs guides de l'OMS. Ils correspondent à la valeur guide pour l'exposition à long terme entre « *good* » et « *fair* » et court terme entre « *fair* » et « *moderate* » pour tous les polluants

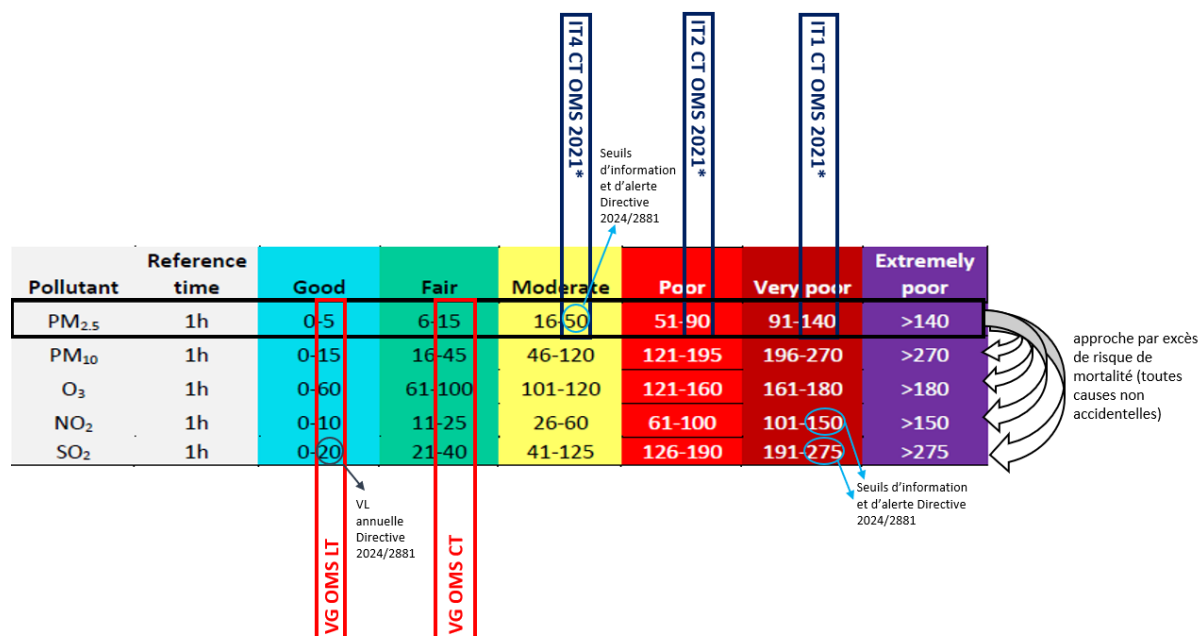
<sup>13</sup> EEA. « European Air Quality Index ». Consulté le 2 décembre 2025. <https://airindex.eea.europa.eu/AQI/index.html>

(González Ortiz *et al.* 2025). Pour le SO<sub>2</sub>, qui ne dispose pas de valeur guide à long terme dans les recommandations de l'OMS, la valeur limite annuelle révisée dans la directive européenne sur la qualité de l'air (Directive (UE) 2024/2881) a été utilisée à la place.

Les PM<sub>2,5</sub> sont considérés comme le polluant de référence. Pour ce polluant, les niveaux d'indice restants (entre « *moderate* » et « *poor* », entre « *poor* » et « *very poor* », entre « *very poor* » et « *extremely poor* ») sont définis sur la base des objectifs intermédiaires (IT) à court terme (24 heures) IT4, IT2 et IT1 fixés par l'OMS (cf. Annexe 3). Pour tous les autres polluants, les niveaux d'indice restants sont définis selon une approche par excès de risque de mortalité (toutes causes non accidentelles) similaire. Autrement dit, en supposant une relation linéaire, il est estimé la concentration pour chacun de ces polluants qui impliquerait une augmentation du risque équivalente à celle observée pour les PM<sub>2,5</sub> (le polluant de référence). Les concentrations obtenues pour 24 heures (PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>) et pour une moyenne glissante sur 8 heures (O<sub>3</sub>) sont ensuite converties en concentrations maximales horaires pour tous les polluants.

Le dernier niveau d'indice « *extremely poor* » est défini pour tous les polluants comme toute valeur supérieure à la limite haute de la borne précédente « *very poor* ».

Finalement, des ajustements mineurs supplémentaires ont été réalisés pour arrondir les valeurs des bornes ou les faire coïncider avec le seuil d'information et de recommandation ou le seuil d'alerte définis dans la directive européenne révisée sur la qualité de l'air (directive (UE) 2024/2881).



\* Transformation de la valeur journalière en valeur horaire à partir d'une équation de régression linéaire, arrondie et coïncidant avec les seuils d'information et d'alerte européen

Figure 10. Représentation schématique de la méthode de construction des bornes de l'EAQI

Bien que les bornes des niveaux d'indice aient été modifiées, les messages sanitaires associés aux différents niveaux restent inchangés par rapport à l'ancienne version de l'EAQI (Tableau 7).

**Tableau 7. Messages sanitaires associés à l'indice européen de qualité de l'air pour la population générale et les populations sensibles (Source : González Ortiz *et al.* (2025), traduction du Tableau 6.1. p.36)**

Indice de qualité de l'air	Population générale	Populations sensibles
Bon	La qualité de l'air est bonne. Profitez de vos activités habituelles de plein air.	La qualité de l'air est bonne. Profitez de vos activités habituelles de plein air.
Moyen	Profitez de vos activités habituelles en plein air.	Profitez de vos activités habituelles en plein air.
Dégradé	Profitez de vos activités habituelles en plein air.	Considérez réduire les activités en plein air intenses si vous ressentez des symptômes.
Mauvais	Considérez réduire les activités en plein air intenses si vous ressentez des symptômes, tels que des yeux irrités, une toux ou un mal de gorge.	Considérez réduire les activités physiques, particulièrement en plein air, surtout si vous ressentez des symptômes.
Très mauvais	Considérez réduire les activités en plein air intenses si vous ressentez des symptômes, tels que des yeux irrités, une toux ou un mal de gorge.	Réduisez les activités physiques, particulièrement en plein air, surtout si vous ressentez des symptômes.
Extrêmement mauvais	Réduisez les activités physiques en plein air.	Évitez les activités physiques en plein air.

### 3.3.2. Analyse de la méthode

La méthode de révision des bornes de l'EAQI est issue de différents choix méthodologiques. Ces derniers sont discutés dans le Tableau 8.

L'approche vise à assurer une certaine cohérence entre les polluants et par classe d'indice, dans le sens où elle permet de fixer des bornes de concentrations qui représentent un risque de décès prématuré équivalent quel que soit le polluant considéré (à l'exception du SO<sub>2</sub> pour lequel l'OMS ne recommande pas de valeur guide long terme, et dont les bornes reflètent les normes réglementaires fixées par la directive 2024/2881). Elle est fondée sur l'hypothèse d'une relation log-linéaire entre concentration et risque de décès toutes causes sur l'ensemble de la gamme des concentrations, et ce pour tous les polluants. Cette hypothèse est valable pour la plupart des polluants dans la littérature épidémiologique (PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub> et dans une moindre mesure NO<sub>2</sub>) mais elle ne semble cependant pas valable pour l'O<sub>3</sub> (Anses 2021 seuils).



**Tableau 8. Avantages et inconvénients de la méthode de fixation des bornes de l'EAQI révisé**

Sujet	Avantages	Inconvénients
Concentrations exprimées en moyenne horaire	<p>Permet une meilleure prise en compte des pics de pollution sur la journée, par rapport à des concentrations exprimées en moyenne journalière.</p> <p>Si besoin, il est toujours possible de revenir aux concentrations en moyenne journalière.</p> <p>Cohérence entre les SIR/SA et l'EAQI pour NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> car les deux dispositifs utilisent des concentrations exprimées en moyennes horaires.</p>	<p>Manque de cohérence entre les SIR/SA et l'EAQI pour les PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> : l'EAQI est exprimé en moyenne horaire et alors que les SIR/SA sont en moyennes journalières.</p> <p>La conversion des concentrations journalières PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> en maximum horaires pourrait engendrer des incertitudes.</p>
Bornes des catégories d'indice définies à partir des valeurs guides de l'OMS	<p>Permet une cohérence globale des valeurs entre chaque polluant pour les 2 premiers niveaux d'indice « bon » et « moyen ».</p> <p>Choix appuyé par des références scientifiques et sanitaires internationales.</p>	<p>Evolution régulière pour le choix des relations dose-réponse au regard des nombreux travaux épidémiologiques publiés depuis la publication des valeurs guides de l'OMS en 2021, incluant le projet de l'OMS HRAPIE 2 - <i>Health risks of air pollution in Europe</i> en 2025. Compte tenu de la nature européenne de l'indice EAQI, ce dernier ne prend pas en compte des relations dose-réponse propres à la France telles que celles publiées par Wagner <i>et al.</i> (2023).</p>
Choix des PM <sub>2,5</sub> comme polluant de référence	<p>Choix justifié scientifiquement, notamment en termes de nombre et de qualité des études disponibles.</p>	
Choix de l'événement de santé (mortalité toutes causes non accidentelle)	<p>Evénement de santé le plus intégrateur, avec les données les plus faciles d'accès. Permet une meilleure comparabilité entre les pays.</p>	<p>Se limite à une analyse des effets de la pollution de l'air sur la mortalité. On pourrait également imaginer une analyse sur la morbidité, par exemple respiratoire.</p> <p>Se limite à la population générale et ne prend pas en compte les risques relatifs pour les populations sensibles.</p>
Choix des polluants	<p>Méthode reconnue par les états membres qui prend en compte les effets associés à chacun des cinq polluants (tel que rapportés le plus souvent dans les études épidémiologiques à l'origine des fonctions dose-réponse utilisées pour les bornes de l'indice) et qui évite les risques de double comptage des effets.</p> <p>Les polluants pris en compte font l'objet d'une surveillance à l'échelle européenne et représentent des sources de pollution distinctes.</p>	<p>Ne tient pas compte des effets additifs ou synergiques de plusieurs polluants, ou seulement partiellement et de manière implicite. Une démarche pour tenir compte de ces effets est par exemple mise en place par AtmoSud par le biais de son indice ICAIR en utilisant une cartographie à haute densité (résolution spatiale de 25m) à la place de stations. Toutefois, comme mentionné dans le rapport de l'AEE (González Ortiz <i>et al.</i> (2025), chapitre 3.2.1), cela n'est pas réalisable car nécessiterait la mesure de tous les polluants par toutes les stations situées en Europe ou une cartographie complète des concentrations. Or, tous les territoires ne sont pas couverts par une cartographie avec une assez bonne résolution spatiale.</p>

Sujet	Avantages	Inconvénients
Forme de la relation entre les concentrations et les événements de santé		Tel qu'indiqué en note de bas de page 15 (p.12) du rapport de l'AEE (González Ortiz <i>et al.</i> 2025), la méthode de calcul suppose une relation log-linéaire, pour tous les polluants et sur l'ensemble de la gamme des concentrations, entre le risque à court terme de décès toutes causes non accidentelles et la concentration. Cette hypothèse est généralement admise, en particulier pour les PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , et dans une moindre mesure pour le NO <sub>2</sub> , pour lequel certaines études ont observé une relation non-linéaire (en moyenne 24 heures). Pour l'O <sub>3</sub> , plusieurs études ont observé une relation non-linéaire (Orellano <i>et al.</i> 2020, Wagner <i>et al.</i> 2023).
Mesure des polluants		Il existe une hétérogénéité entre les pays de la couverture des territoires par les stations de surveillance. Sur le site web de l'EAQI, absence d'information disponible sur la performance des modèles pour les différents polluants pour ces résolutions spatiales et temporelles sur les différents territoires européens.

### 3.3.3. Mise en perspective avec l'indice national ATMO

L'indice ATMO ayant repris l'ancien indice européen, il est forcément différent du nouvel EAQI. Dans les principales évolutions, l'indice européen vise à décrire la situation de la qualité de l'air à court terme (toutes les heures) dans chacune des stations de surveillance en Europe. L'indice français indique la situation quotidienne à l'échelle communale ou intercommunale. Ce dernier est calculé grâce<sup>14</sup>:

- « Aux mesures effectuées sur les stations de fond ;
- À la modélisation qui intègre les données des inventaires d'émissions de polluants, des données de qualité de l'air mesurées par les stations de fond et des prévisions météorologiques. »

Les deux indices prennent en compte les 5 mêmes polluants (PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>). Les seuils et les qualificatifs associés (« bon », « moyen », « dégradé », « mauvais », « très mauvais », « extrêmement mauvais ») étaient également identiques avant la révision des bornes de l'EAQI. Depuis la révision de juillet 2025, les bornes de l'indice européen ont été modifiées et seraient à considérer pour une actualisation de l'indice ATMO.

Il convient de souligner que des indices complémentaires peuvent exister à l'échelle régionale. Par exemple, AtmoSud a lancé l'indice ICAIR (indice cumulé de l'air) en 2023, propre à la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Il permet la prise en compte des effets cumulatifs des différents polluants, et de mettre en évidence les zones à exposition multiple. Toutefois, tel que détaillé dans le document de l'AEE (González Ortiz et al. 2025, p10), cette approche n'est pas généralisable à l'échelle européenne car elle nécessite la mesure de tous les polluants à chaque station.

---

<sup>14</sup> Atmo France. s. d. « Décodage de la qualité de l'air. Questions/réponses ». Consulté le 12 décembre 2025. <https://www.atmo-france.org/faq> q

### 3.4. Conclusions sur la pertinence des seuils d'information/recommandation et d'alerte, et cohérence avec l'indice de qualité de l'air

Comme évoqué précédemment, les seuils d'information et d'alerte proposés par la directive européenne (Directive (UE) 2024/2881) s'appliquent à l'ensemble des Etats membres. Or, dans le domaine de la qualité de l'air, ces derniers font face à des situations hétérogènes en raison de facteurs variés<sup>15</sup>, pouvant être anthropiques (sources comme le transport, le résidentiel et tertiaire, l'industrie et l'agriculture) et naturels (configuration géographique, conditions météorologiques, topographiques, etc.). Ainsi, chaque Etat peut, selon sa situation, être davantage ambitieux et proposer des seuils plus bas, tels que ceux de la France pour certains polluants.

De ce fait, la question de la pertinence des SIR/SA, dont le dépassement engendre le déclenchement d'une procédure préfectorale, se pose dans un contexte de transposition au niveau national de la directive européenne (2024/2881) au plus tard fin 2026, de même que celle de leur cohérence avec l'indice de qualité de l'air servant à l'information du public.

#### 3.4.1. Recherche de cohérence pour l'information du public

En termes de communication et de cohérence dans l'information transmise à la population, une cohérence devrait être recherchée entre le dispositif de gestion lié à la qualité de l'air, basé sur les SIR/SA, et le dispositif de communication sur cette qualité, basé sur l'indice de qualité de l'air. Par exemple, à l'échelle européenne, lors de la révision des bornes de l'EAQI, des modifications ont été réalisées afin de renforcer la cohérence entre les deux dispositifs :

- PM<sub>2,5</sub> : le SIR correspond au passage du niveau d'indice de « moderate » à « poor » ;
- O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> : le SIR correspond au passage du niveau d'indice de « very poor » à « extremely poor ».

Il convient d'ores et déjà de noter que l'utilisation des SIR des différents polluants n'est pas cohérente entre les différents niveaux d'indice.

Si la France utilise des SIR plus faibles que ceux proposés par la directive européenne, cette cohérence avec l'indice de qualité de l'air européen n'existera plus. Le risque principal pouvant être associé à cette situation serait la confusion entre les deux dispositifs, même si ceux-ci reposent déjà sur différentes périodes de calcul (horaire, journalière...) voire se distinguent dans l'introduction de la notion de persistance. Par exemple, à ce jour en France, une valeur de l'indice ATMO relevant du qualificatif « mauvais » ne signifie pas forcément qu'un épisode de pollution de l'air soit déclenché par le dépassement d'un seuil, au sens réglementaire, et inversement.

De plus, la multiplication des indices de qualité de l'air pourrait encore davantage complexifier le message (indice européen, national voire régional). L'indice européen permet aux utilisateurs de se positionner par rapport à d'autres pays avec un même outil, ce qui peut être particulièrement utile dans une situation transfrontalière. L'harmonisation *a minima* des bornes

<sup>15</sup> EEA. 9 avril 2025. « Air Quality Status Report 2025 ». <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/air-quality-status-report-2025>

des niveaux d'indice pourrait permettre aux citoyens une information claire et comparable partout en France et en Europe, mais demeurerait incohérente avec le dispositif de gestion.

Dans l'hypothèse où :

- Lors de la transposition de la directive européenne en droit national, la France conserverait ses SIR et SA inférieurs à ceux proposés au niveau européen tout en appliquant strictement les autres ;
- L'indice ATMO français reprendrait à l'identique les bornes des niveaux d'indice et la durée de référence de l'EAQI,

la comparaison entre les deux dispositifs serait comme retranscrite dans le Tableau 9.

**Tableau 9. Potentiels liens et incohérences entre les seuils réglementaires et l'indice de qualité de l'air (hypothèse)**

Polluant	Réglementation FR (hypothèse)			Indice de qualité de l'air européen		Constats
	Type de valeur	( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Durée de mesure	Durée de mesure	Sous-indice correspondant aux SIR/SA	
PM <sub>2,5</sub>	SIR	50	Moyenne journalière	Moyenne horaire	Borne supérieure de « dégradé »	On observe une cohérence entre les deux dispositifs car la valeur de 50 $\mu\text{g/m}^3$ correspond au passage du sous-indice « dégradé » à « mauvais ». On observe une incohérence entre les durées prises en compte dans les deux dispositifs.
	SA	50	Moyenne sur 3j consécutifs		Borne supérieure de « dégradé »	
PM <sub>10</sub>	SIR	50	Moyenne journalière	Moyenne horaire	Dans le sous-indice « dégradé »	On observe une incohérence car les valeurs des SIR/SA ne correspondent à aucune borne de l'indice. Elles se situent dans le sous-indice « dégradé ». On observe une incohérence entre les durées prises en compte dans les deux dispositifs.
	SA	80	Moyenne journalière		Dans le sous-indice « dégradé »	
O <sub>3</sub>	SIR	180	Moyenne horaire	Moyenne horaire	Borne supérieure de « très mauvais »	On observe une cohérence entre les deux dispositifs car la valeur de 180 $\mu\text{g/m}^3$ correspond au passage du sous-indice « très mauvais » à « extrêmement mauvais ».
	SA	240	Moyenne horaire		Borne supérieure de « très mauvais »	
NO <sub>2</sub>	SIR	150	Moyenne horaire	Moyenne horaire	Borne supérieure de « très mauvais »	On observe une cohérence entre les deux dispositifs car la valeur de 150 $\mu\text{g/m}^3$ correspond au passage du sous-indice « très mauvais » à « extrêmement mauvais ».
	SA	200	Moyenne horaire sur 3h consécutives		Borne supérieure de « très mauvais »	

Polluant	Réglementation FR (hypothèse)			Indice de qualité de l'air européen		Constats
	Type de valeur	(µg.m-3)	Durée de mesure	Durée de mesure	Sous-indice correspondant aux SIR/SA	
SO <sub>2</sub>	SIR	275	Moyenne horaire sur 3h consécutives	Moyenne horaire	Borne supérieure de « très mauvais »	On observe une cohérence entre les deux dispositifs car la valeur de 275 µg/m <sup>3</sup> correspond au passage du sous-indice « très mauvais » à « extrêmement mauvais ».
	SA	350	Moyenne horaire sur 3h consécutives		Borne supérieure de « très mauvais »	On observe une incohérence entre les durées prises en compte dans les deux dispositifs.

La comparaison entre les seuils d'information, de recommandation et les seuils d'alerte avec les bornes de l'indice de qualité de l'air montre que le déclenchement des procédures préfectorales pourrait ne pas concerner le même niveau d'indice selon le polluant considéré. Par exemple, pour les PM<sub>2,5</sub> le dépassement du seuil d'information et de recommandation aura lieu pour un indice de qualité de l'air « mauvais » alors que ce serait pour un indice « extrêmement mauvais » pour l'O<sub>3</sub>.

Comme il n'y a pas de corrélation directe entre l'indice ATMO et le déclenchement des procédures préfectorales sur dépassement des SIR/SA, les messages sanitaires diffusés peuvent également différer. Concernant l'indice, des « recommandations comportementales établies par le ministère en charge de la Santé sont associées aux différents qualificatifs de l'indice ATMO et diffusées par les AASQA »<sup>16</sup>. En cas d'épisode de pollution, les messages sanitaires diffusés par les autorités publiques (le préfet) sont issus de l'arrêté du 13 mars 2018 modifiant l'arrêté du 20 août 2014 relatif aux recommandations sanitaires en vue de prévenir les effets de la pollution de l'air sur la santé, pris en application de l'article R.221-4 du code de l'environnement<sup>17</sup>. Ils sont associés à des mesures de réduction des émissions, et des contrôles et/ou sanctions peuvent être mis en place<sup>18</sup>.

### 3.4.2. Approche en termes de santé publique

En préambule, il est rappelé que le seuil d'information et de recommandation et le seuil d'alerte ont pour objectif de protéger la population d'un niveau de concentration au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé. De ce fait, la définition de ces seuils doit s'appuyer sur des critères sanitaires.

Concernant la mise en perspective des seuils français et européens avec les données de la littérature scientifique, l'agence observe que :

<sup>16</sup> Atmo France. s. d. « L'indice ATMO ». Consulté le 4 décembre 2025. <https://www.atmo-france.org/article/lindice-atmo>

<sup>17</sup> Ministère de la Santé, de la Famille, de l'Autonomie et des Personnes handicapées. 9 août 2024. « Recommandations en cas d'épisode de pollution ». Ministère de la Santé, de la Famille, de l'Autonomie et des Personnes handicapées. <https://sante.gouv.fr/sante-et-environnement/air-exterieur/qualite-de-l-air-exterieur-10984/article/recommandations-en-cas-d-episode-de-pollution>

<sup>18</sup> Atmo France. s. d. « Les épisodes de pollution ». Atmo France. Consulté le 4 décembre 2025. <https://www.atmo-france.org/article/les-episodes-de-pollution>

- Les seuils sont souvent supérieurs aux concentrations en polluants pour lesquelles des effets néfastes à court terme sur la santé sont observés dans les études épidémiologiques (sur des pas de temps égaux ou proches de ceux pour lesquels les seuils sont fixés), en particulier pour les effets sur la mortalité toutes causes d'origine non accidentelle, les hospitalisations, les passages aux services d'urgence et la mortalité pour causes respiratoires et cardiovasculaires.
- Une diminution des seuils pour tous les polluants serait associée à un bénéfice sanitaire. Ce bénéfice serait potentiellement accru pour les PM<sub>10</sub>, les PM<sub>2,5</sub> et le NO<sub>2</sub>, en se basant notamment sur les résultats de l'étude de Wagner *et al.* (2023) qui montre une supra-linéarité de la relation entre la concentration de ces polluants et la mortalité et les hospitalisations.
- Des SIR et SA trop élevés pourraient avoir un bénéfice sanitaire observable en population limitée, voire potentiellement nul, en se basant notamment sur les résultats de l'étude de Alari *et al.* (2021). Inversement, plus les seuils seraient bas, plus le bénéfice sanitaire potentiel serait accru.

Ces résultats ne sont pas en faveur d'une augmentation des seuils relatifs aux PM<sub>10</sub> français au niveau des seuils relatifs aux PM<sub>10</sub> européens qui est le seul polluant pour lequel les seuils européens proposés par la Directive 2024/2881 sont supérieurs aux seuils français actuels.

Par ailleurs, il est rappelé que :

- Les effets observés en population sur la mortalité ou le recours aux soins (ex : hospitalisations, passages aux urgences) ne représentent qu'une partie des impacts de la pollution de l'air à court terme. Comme l'illustre Santé publique France (Corso *et al.* 2018) : « suite à l'épisode de mars 2014 qui a affecté une grande partie de la France, l'Ademe a interrogé 850 franciliens pour évaluer la gêne créée par l'épisode de pollution et l'acceptabilité de la circulation alternée. Si 44 % se disent gênés en général par la pollution, 22 % avaient ressenti une gêne particulière lors de l'épisode du mois de mars, mais seulement 6 % avaient consulté un médecin pour cela ».
- L'impact sanitaire des épisodes de pollution est variable en fonction des villes et des années considérées, et relativement faible (Corso *et al.* 2018; Anses 2021). Néanmoins, ils représentent localement des problématiques de santé publique et également une opportunité pour sensibiliser les parties prenantes et la population exposée aux effets délétères de la pollution de l'air sur la santé.

#### 4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

Considérant l'ensemble des éléments présentés ci-dessus, l'Anses recommande, dans la mesure du possible, de réviser les seuils d'information/recommandation et d'alerte en tenant compte des valeurs guides de l'OMS rappelées en Annexe 3. L'Agence souligne d'ailleurs que ces valeurs sont assorties d'objectifs intermédiaires également proposés par l'OMS pour certains polluants, dont ceux faisant l'objet de seuils d'information et d'alerte, afin de faciliter une mise en application progressive. En effet, l'Anses constate que ces valeurs guides revues à la baisse s'accordent davantage avec les concentrations les plus faibles associées à des effets sanitaires observés dans la littérature analysée, et que tendre vers elles conduit à s'inscrire dans le sens d'une meilleure protection de la santé des populations, qu'il importe également de sensibiliser à la pertinence des seuils et aux actions associées.

Les seuils de la directive européenne (Directive (UE) 2024/2881) sont supérieurs aux valeurs guides recommandées par l'OMS mais inférieures aux seuils français à l'exception de ceux pour les particules PM<sub>10</sub>. D'une manière générale, l'Anses estime donc qu'il convient de privilégier des seuils plus protecteurs pour la santé publique, aux niveaux aussi bien européen que national. Si la cohérence avec les seuils de la directive européenne était privilégiée dans le cadre de sa transposition, l'agence n'est pas favorable à une augmentation des seuils français concernant les PM<sub>10</sub> à hauteur de ceux retenus au niveau européen.

L'agence précise que ses recommandations, fondées sur des considérations sanitaires, ne tiennent pas compte des impacts de la révision des seuils d'information/recommandation et d'alerte sur la fréquence de dépassement des seuils — pour lesquels des opérateurs de la surveillance de la qualité de l'air ont été mandatés par ailleurs — ni de leur acceptabilité sociale. Ces éléments sont à prendre en compte pour que les seuils jouent pleinement le rôle informatif et protecteur qui leur a été fixé par la réglementation.

S'agissant de la cohérence entre le dispositif de gestion des épisodes de pollution et celui d'information de l'indice de qualité de l'air ambiant auprès du grand public, l'agence souligne qu'ils ont des objectifs différents. Elle note que le nouvel indice européen intègre une approche homogène pour l'ensemble des polluants, tant sur le niveau de risque pris en compte (en termes de mortalité toutes causes non accidentelles confondues) que sur le pas de temps à considérer pour leur construction. Cette approche implique des calculs de conversion en moyenne horaire qui diminuent la cohérence avec les valeurs guides de l'OMS et avec les seuils d'information, de recommandation et d'alerte. A contrario, elle permet ainsi une meilleure prise en compte des pics de pollution sur la journée. A ce stade, l'agence recommande de viser une mise en cohérence des messages sanitaires qui découlent de l'application des deux dispositifs.

Enfin, l'Anses rappelle et souligne le rôle premier, dans la lutte contre les effets néfastes de la pollution de l'air ambiant sur la santé, des politiques publiques et des actions de tous pour atteindre une réduction effective des niveaux d'exposition chroniques.

Gilles Salvat



## MOTS-CLÉS

Qualité de l'air, Pollution air ambiant, Dioxyde d'azote, Dioxyde de soufre, Ozone, Particules, Seuil d'information, Seuil d'alerte, Effets sanitaires

*Air quality, Outdoor air pollution, Nitrogen dioxide, Sulphur dioxide, Ozone, Particulate matter, Alert threshold, Information threshold, Health effects*

## BIBLIOGRAPHIE

Alari, Anna, Lara Schwarz, Léo Zabrocki, Géraldine Le Nir, Basile Chaix, et Tarik Benmarhnia. 2021. « The Effects of an Air Quality Alert Program on Premature Mortality: A Difference-in-Differences Evaluation in the Region of Paris ». *Environment International* 156 (novembre): 106583. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106583>.

Anses. 2019. Note d'appui scientifique et technique de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif au projet de révision de l'indice ATMO. Note d'appui scientifique. Anses. <https://www.anses.fr/system/files/AIR2019SA0138.pdf>.

Anses. 2021. Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à « la modification des seuils de déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant ». Anses. <https://www.anses.fr/system/files/AIR2020SA0110.pdf>.

Anses. 2025. Avis et rapport révisés relatifs à l'élaboration de VTR par voie respiratoire pour les particules de l'air ambiant extérieur (PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>10</sub>) et le carbone suie de l'air ambiant extérieur. Anses. <https://www.anses.fr/sites/default/files/AIR2019SA0198RA-2.pdf>.

Arrêté du 7 avril 2016 relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant (2016). <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000032376671/>.

Arrêté du 10 janvier 2000 relatif à l'indice de qualité de l'air. Consulté le 2 décembre 2025. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000000581319>.

Arrêté du 21 décembre 2011 modifiant l'arrêté du 22 juillet 2004 relatif aux indices de la qualité de l'air. Consulté le 2 décembre 2025. <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000025059976/>.

Arrêté du 26 août 2016 modifiant l'arrêté du 7 avril 2016 relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant (2016). <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000033069766>.

Atmo France. s. d.-a. « Décodage de la qualité de l'air. Questions/réponses ». Consulté le 12 décembre 2025. <https://www.atmo-france.org/faq>.

Atmo France. s. d.-b. « Les épisodes de pollution ». Atmo France. Consulté le 4 décembre 2025. <https://www.atmo-france.org/article/les-episodes-de-pollution>.

Atmo France. s. d.-c. « L'indice ATMO ». Atmo France. Consulté le 4 décembre 2025. <https://www.atmo-france.org/article/lindice-atmo>.

AtmoSud. s. d. « ICAIR, l'indice cumulé de l'air ». Consulté le 11 décembre 2025. <https://www.atmosud.org/article/icaire-lindice-cumule-de-lair>.

Blanchard, M, D Borelli, B Chardon, et al. 2008. Programme de surveillance air et santé. Analyse des liens à court terme entre pollution atmosphérique urbaine et mortalité dans neuf villes françaises. InVS. <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/documents/rapport-synthese/programme-de-surveillance-air-et-sante.-analyse-des-liens-a-court-terme-entre-pollution-atmospherique-urbaine-et-mortalite-dans-neuf-villes-francaises> .

Cassadou, S, D Eilstein, L Filleul, et al. 2002. Programme de surveillance Air et Santé 9 villes. Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain. Phase II. Revue de synthèse. InVS. <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/documents/rapport-synthese/programme-de-surveillance-air-et-sante-9-villes.-surveillance-des-effets-sur-la-sante-lies-a-la-pollution-atmospherique-en-milieu-urbain.-phase-ii> .

Code de l'environnement. Section 1 : Surveillance de la qualité de l'air ambiant (Articles R221-1 à R221-3), Code de l'environnement § 1. Consulté le 2 décembre 2025. [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section\\_lc/LEGITEXT000006074220/LEGISCTA000006177052/](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006074220/LEGISCTA000006177052/) .

Code de l'environnement. Section 1 : Surveillance de la qualité de l'air (Articles L221-1 à L221-5), Code de l'environnement § 1. Consulté le 9 décembre 2025. [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section\\_lc/LEGITEXT000006074220/LEGISCTA000006176481/#LEGISCTA000006176481](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006074220/LEGISCTA000006176481/#LEGISCTA000006176481) .

Corso, M, P de Crouy-Chanel, S Medina, V Wagner, et M Blanchard. 2018. Impact sanitaire de l'épisode de pollution aux PM10 de novembre-décembre 2016. Santé publique France.

Directive 2004/107/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 décembre 2004 concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant (2004). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=celex%3A32004L0107> .

Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe (2008). <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000018984836/> .

Directive (UE) 2024/2881 du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2024 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe (refonte), 70 (2024). [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=OJ:L\\_202402881](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202402881) .

EEA. 2019. Air Quality in Europe. EEA.

EEA. 2025. « Air Quality Status Report 2025 ». avril 9. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/air-quality-status-report-2025> .

EEA. s.d. « European Air Quality Index ». Consulté le 11 décembre 2025. <https://airindex.eea.europa.eu/AQI/index.html> .

EPA, US. 2016. Integrated Science Assessment (ISA) for Oxides of Nitrogen – Health Criteria. Final Report. EPA/600/R-15/068. US EPA. <https://www.epa.gov/isa/integrated-science-assessment-isa-oxides-nitrogen-health-criteria> .

EPA, US. 2017. Integrated Science Assessment (ISA) for Sulfur Oxides – Health Criteria. Final Report. EPA/600/R-17/451. <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=338596> .

EPA, US. 2019. Integrated Science Assessment (ISA) for Particulate Matter. Final Report. EPA/600/R-19/188. US EPA.  
<https://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=347534> .

EPA, US. 2020. Integrated Science Assessment (ISA) for Ozone and Related Photochemical Oxidants. Final Report. EPA/600/R-20/012.  
<https://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=348522> .

González Ortiz, Alberto, Joana Soares, Jaume Targa, et al. 2025. EEA's Revision of the European Air Quality Index Bands. ETC HE Report 2024/17. EEA.  
<https://doi.org/10.5281/ZENODO.15781195> .

Lefranc, A, M Blanchard, D Borelli, et al. 2006. Programme de surveillance air et santé (Psas). Relations à court terme entre les niveaux de pollution atmosphérique et les admissions à l'hôpital dans huit villes françaises. InVS. <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/documents/rapport-synthese/programme-de-surveillance-air-et-sante-psas--relations-a-court-terme-entre-les-niveaux-de-pollution-atmospherique-et-les-admissions-a-l-hopital-d> .

Ministère de la Santé, de la Famille, de l'Autonomie et des Personnes handicapées. 2024. « Recommandations en cas d'épisode de pollution ». Ministère de la Santé, de la Famille, de l'Autonomie et des Personnes handicapées, août 9. <https://sante.gouv.fr/sante-et-environnement/air-exterieur/qualite-de-l-air-exterieur-10984/article/recommandations-en-cas-d-episode-de-pollution> .

Orellano, Pablo, Julieta Reynoso, Nancy Quaranta, Ariel Bardach, et Agustin Ciapponi. 2020. « Short-Term Exposure to Particulate Matter (PM10 and PM2.5), Nitrogen Dioxide (NO2), and Ozone (O3) and All-Cause and Cause-Specific Mortality: Systematic Review and Meta-Analysis ». *Environment International* 142 (septembre): 105876.  
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105876> .

Pascal, L, S Medina, M Pascal, Corso M, A Ung, et C Declercq. 2013. Effets sanitaires de la pollution de l'air : bilan de 15 ans de surveillance en France et en Europe. Nos. 1-2. Bulletin Épidémiologique Hebdomadaire. <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/documents/article/effets-sanitaires-de-la-pollution-de-l-air-bilan-de-15-ans-de-surveillance-en-france-et-en-europe> .

SDES, Ineris/LCSQA, et DGEC. 2025. Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2024. SDES. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/bilan-de-la-qualite-de-lair-exterieur-en-france-en-2024> .

Wagner, Véréne, Mathilde Pascal, Magali Corso, Anna Alari, Tarik Benmarhnia, et Alain Le Tertre. 2023. « On the Supra-Linearity of the Relationship between Air Pollution, Mortality and Hospital Admission in 18 French Cities ». *International Archives of Occupational and Environmental Health* 96 (4): 551-63. <https://doi.org/10.1007/s00420-022-01948-3> .

WHO. 2021. WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM2.5 and PM10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide. WHO European Centre for Environment and Health. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228> .

## CITATION SUGGÉRÉE

Anses. (2026). Avis relatif à « la modification des seuils de déclenchement des mesures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant, et à la révision de l'indice européen de qualité de l'air ». Saisine 2025-SA-0116. Maisons-Alfort : Anses, 55p.

## ANNEXE 1. PRESENTATION DES INTERVENANTS

**PRÉAMBULE** : Les experts membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

### RAPPORTEURS

---

Mme Bénédicte JACQUEMIN – Directrice de recherche (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, Institut de recherche sur la santé, l'environnement et le travail) – Compétences : épidémiologie, particules, pollution atmosphérique.

Mme Corinne MANDIN – Responsable du service de recherche sur les effets sanitaires des rayonnements ionisants (Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection) – Compétences : expologie, épidémiologie, évaluation des risques sanitaires.

### COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ

---

Les travaux, objets du présent rapport, ont été suivis par le CES suivant : CES « Evaluation des risques liés aux milieux aériens ».

### PARTICIPATION ANSES

---

#### Coordination et contribution scientifique

Mme Claire DULONG – Coordinatrice d'expertise scientifique – Unité d'évaluation des risques liés à l'air – Anses

M. Matteo REDAELLI – Coordinateur d'expertise scientifique – Unité d'évaluation des risques liés à l'air – Anses

#### Secrétariat administratif

Mme Sophia SADDOKI – Anses

### CONTRIBUTIONS EXTÉRIEURES AU(X) COLLECTIF(S)

---

Charlotte LEPITRE – Déléguée générale adjointe – Fédération Atmo France : transmission de données.

**ANNEXE 2. INDICE DE QUALITE DE L'AIR ET DISPOSITIF REGLEMENTAIRE RELATIF AUX SEUILS DE DECLENCHEMENT DES PROCEDURES PREFERATORIALES EN CAS D'EPISODE DE POLLUTION**

- Indice de qualité de l'air

Afin d'informer les citoyens sur l'état de la qualité de l'air actuel et sa prévision pour le lendemain, l'article R. 221-5 du code de l'environnement prévoit la mise à disposition d'un indice de qualité de l'air, dénommé indice ATMO, calculé et publié chaque jour.

L'arrêté du 10 janvier 2000<sup>19</sup> créé et définit les caractéristiques de l'indice ATMO. Ce dernier a ensuite été remplacé par l'arrêté du 22 juillet 2004<sup>20</sup> et modifié par l'arrêté du 21 décembre 2011<sup>21</sup> afin d'être plus représentatif des effets sur la santé. Finalement, l'indice ATMO est aligné sur l'indice EAQI, proposé en 2017 par l'AEE, par arrêté du 10 juillet 2020<sup>22</sup>.

La nouvelle Directive 2024/2881 demande à présent aux Etats membres de s'appuyer *a minima* sur cet indice européen pour élaborer les indices nationaux et d'intégrer des mises à jour des résultats de ces indices toutes les heures concernant au moins cinq polluants : le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), les particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>) et l'ozone (O<sub>3</sub>).

En juillet 2025, l'indice européen (EAQI) a été révisé par l'AEE pour s'aligner sur les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et les seuils proposés par la nouvelle Directive 2024/2881. La méthode de construction des bornes de l'indice (en anglais : *bands*) a été modifiée (González Ortiz *et al.* 2025) et est détaillée dans la partie 3.3 du présent avis.

Afin d'éviter toute confusion, sont retenus dans ce document :

- Le terme « borne » pour ce qui concerne les indices de qualité de l'air ;
- Le terme « seuil » pour ce qui concerne les seuils de gestion (SIR/SA) du dispositif préfectoral en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant.

- Dispositif réglementaire relatif aux seuils de déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air extérieur

Le déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant est défini dans le cadre du dispositif de surveillance de la qualité de l'air ambiant,

<sup>19</sup> L'indice ATMO a été mis à jour par arrêté du 10 juillet 2020 relatif à l'indice de la qualité de l'air ambiant. Il est basé sur l'ancienne proposition (de 2017) d'indice de qualité de l'air de l'AEE.

<sup>20</sup> Arrêté du 21 décembre 2011 modifiant l'arrêté du 22 juillet 2004 relatif aux indices de la qualité de l'air : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000025059976/>

<sup>21</sup> Arrêté du 21 décembre 2011 modifiant l'arrêté du 22 juillet 2004 relatif aux indices de la qualité de l'air <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000025059976>

<sup>22</sup>

Arrêté du 10 juillet 2020 relatif à l'indice de la qualité de l'air ambiant: <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000042164835>

A noter que des travaux de révision de l'indice ATMO avaient été engagés sous l'égide d'ATMO France. Un travail de l'Anses avait accompagné une de ces propositions d'évolution en examinant différents aspects méthodologiques à la demande de la Direction Générale de l'Energie et du Climat (Anses 2019) avant de s'aligner sur l'indice européen.

selon les conditions définies aux articles R221-1 à R221-3 du Code de l'environnement<sup>23</sup>. Un épisode de pollution est défini par le dépassement de seuils qui comprennent actuellement les « seuils d'information et de recommandation » et les « seuils d'alerte » pour les polluants suivants : PM<sub>10</sub><sup>24</sup>, dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), ozone (O<sub>3</sub>) et dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>). Ils sont définis comme suit par l'article R221-1 :

- *Seuil d'information et de recommandation* : « un niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de groupes particulièrement sensibles au sein de la population et qui rend nécessaires l'émission d'informations immédiates et adéquates à destination de ces groupes et des recommandations pour réduire certaines émissions » ;
- *Seuil d'alerte* : « un niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population ou de dégradation de l'environnement, justifiant l'intervention de mesures d'urgence ».

Les conditions de déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant sur la base de ces seuils sont définies par l'arrêté du 26 août 2016 modifiant l'arrêté du 7 avril 2016<sup>25</sup>. Au sens de cet arrêté, les épisodes de pollution de l'air ambiant y sont définis comme suit (article 1) : « période au cours de laquelle la concentration dans l'air ambiant d'un ou plusieurs polluants atmosphériques est supérieure ou risque d'être supérieure au seuil d'information et de recommandation ou au seuil d'alerte définis à l'article R. 221-1 du code de l'environnement, dans les conditions prévues à l'article 2. ». Il définit également la notion de persistance :

- « Épisode persistant de pollution aux PM<sub>10</sub> ou à l'O<sub>3</sub> :
  - *En cas de modélisation des pollutions* : lorsque le dépassement du seuil d'information et de recommandation est prévu pour le jour même et le lendemain ;
  - *En l'absence de modélisation des pollutions* : lorsqu'il est constaté le dépassement du seuil d'information et de recommandation sur station de fond durant deux jours consécutifs. Les constats peuvent être observés sur des stations de fond différentes au sein d'une même superficie retenue pour la caractérisation de l'épisode de pollution. ».

L'article 2 de l'arrêté précise les critères de superficie, de population ou autres (situations locales particulières) pour caractériser le dépassement d'un seuil de pollution pour les PM<sub>10</sub>, le NO<sub>2</sub> et/ou l'O<sub>3</sub>. Lorsque le dépassement de ce seuil est obtenu par un calcul de modélisation

<sup>23</sup> Code de l'environnement. Section 1 : Surveillance de la qualité de l'air ambiant (Articles R221-1 à R221-3 :

[https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section\\_lc/LEGITEXT000006074220/LEGISCTA000006177052/](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006074220/LEGISCTA000006177052/)

<sup>24</sup> Les PM<sub>10</sub> sont les particules passant dans un orifice d'entrée calibré tel que défini dans la méthode de référence pour l'échantillonnage et la mesure du PM<sub>10</sub>, norme EN 12341, avec un rendement de séparation de 50 % pour un diamètre aérodynamique de 10 µm.

<sup>25</sup> Arrêté du 26 août 2016 modifiant l'arrêté du 7 avril 2016 relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant 2016 : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000033069766>



de la qualité de l'air, il est considéré comme caractérisé sans attendre la confirmation par la mesure de ce dépassement. En l'absence de modélisation, un épisode de pollution peut être caractérisé par constat d'une mesure de dépassement d'un seuil sur au moins une station de fond (éloignée des sources de pollution).

Une des mesures consécutives à un dépassement, ou à un risque de dépassement, est la diffusion des recommandations sanitaires définies par le ministère chargé de la santé, afin de protéger la santé des populations et en particulier des personnes sensibles ou vulnérables. Dans ce cadre, le ministère en charge de la santé fournit des compléments d'information disponibles en ligne sur les messages sanitaires à destination des populations vulnérables, des populations sensibles et de la population générale<sup>26</sup>.

Les épisodes de pollution de l'air ambiant sont définis dans l'article 1 de l'arrêté du 26 août 2016 modifiant l'arrêté du 7 avril 2016 ainsi que la notion de persistance suivante pour les niveaux de concentration en PM<sub>10</sub> ou en l'O<sub>3</sub> :

- En cas de modélisation des pollutions : lorsque le dépassement du seuil d'information et de recommandation est prévu pour le jour même et le lendemain ;
- En l'absence de modélisation des pollutions : lorsqu'il est constaté le dépassement du seuil d'information et de recommandation sur station de fond durant deux jours consécutifs. Les constats peuvent être observés sur des stations de fond différentes au sein d'une même superficie retenue pour la caractérisation de l'épisode de pollution. ».

Un épisode est considéré d'ampleur nationale lorsque « la superficie des territoires concernés s'étend sur plusieurs régions et qu'il concerne une période excédant deux jours consécutifs » (SDES *et al.* 2025). Cette définition ne considère que les régions de métropole.

Les articles 3, 4, 5 et 6 précisent les modalités de mise en œuvre des procédures, le rôle des acteurs, le contenu de l'information à diffuser conformément à l'article R. 221-8 du code de l'environnement ainsi que les mesures réglementaires de réduction des émissions polluantes. En résumé, le préfet de zone de défense et de sécurité établit un document-cadre relatif aux procédures préfectorales et aux mesures de dimension interdépartementale en cas d'épisode de pollution. Lorsqu'un épisode de pollution concerne plusieurs départements, le préfet de zone de défense et de sécurité prend les mesures de police administrative nécessaires à l'exercice de son pouvoir de coordination dans les conditions prévues par le code de la sécurité intérieure. Il peut mobiliser une cellule de crise zonale. La mise en œuvre des actions d'information et de recommandation et des mesures réglementaires de réduction des émissions de polluants circonscrites à un département relève du préfet de département, sous réserve des compétences du préfet de zone de défense et de sécurité. Cette mise en œuvre

---

<sup>26</sup> Ministère de la Santé, de la Famille, de l'Autonomie et des Personnes handicapées. « Recommandations en cas d'épisode de pollution » : <https://sante.gouv.fr/sante-et-environnement/air-exterieur/qualite-de-l-air-exterieur-10984/article/recommandations-en-cas-d-episode-de-pollution>

peut être déléguée aux organismes agréés prévus à l'article L. 221-3 du même code de l'environnement<sup>27</sup>.

L'article 2 décrit les caractéristiques de dépassement d'un seuil :

« 1° Soit à partir d'un critère de superficie, dès lors qu'une surface d'au moins 100 km<sup>2</sup> au total dans une région est concernée par un dépassement de seuils d'ozone, de dioxyde d'azote et/ou de particules « PM<sub>10</sub> » estimé par modélisation en situation de fond ;

2° Soit à partir d'un critère de population :

- pour les départements de plus de 500 000 habitants, lorsqu'au moins 10 % de la population du département sont concernés par un dépassement de seuils d'ozone, de dioxyde d'azote et/ou de particules « PM<sub>10</sub> » estimé par modélisation en situation de fond ;
- pour les départements de moins de 500 000 habitants, lorsqu'au moins une population de 50 000 habitants au total dans le département est concernée par un dépassement de seuils d'ozone, de dioxyde d'azote et/ou de particules « PM<sub>10</sub> » estimé par modélisation en situation de fond ;

3° Soit en considérant les situations locales particulières portant sur un territoire plus limité, notamment les vallées encaissées ou mal ventilées, les zones de résidence à proximité de voiries à fort trafic, les bassins industriels ».

---

<sup>27</sup> Code de l'environnement. Section 1 : Surveillance de la qualité de l'air (Articles L221-1 à L221-5) : [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section\\_lc/LEGITEXT000006074220/LEGISCTA000006176481/#LEGISCTA000006176481](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006074220/LEGISCTA000006176481/#LEGISCTA000006176481)



ANNEXE 3. VALEURS GUIDES DE QUALITE DE L’AIR RECOMMANDEES PAR L’OMS

« Les valeurs guides de qualité de l’air ambiant de l’OMS, qui n’ont pas un caractère réglementaire, constituent la base scientifique pour protéger la santé des populations par rapport aux effets de la pollution atmosphérique et contribuer à éliminer ou réduire au maximum les polluants atmosphériques reconnus ou soupçonnés d’être dangereux pour la santé ou le bien-être de l’Homme. Elles résultent des connaissances sur les effets sur la santé, documentées par les données médicales, épidémiologiques et toxicologiques. Des objectifs intermédiaires sont également proposés par l’OMS pour accompagner la déclinaison nationale, compte tenu de l’abaissement très important des valeurs guides recommandées par l’OMS pour certains polluants (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, monoxyde de carbone – CO) en 2021 par rapport à celles publiées en 2005. Pour mémoire, les normes réglementaires de qualité de l’air de la nouvelle directive européenne sur la qualité de l’air à respecter d’ici 2030 (directive UE 2024/2881 concernant la qualité de l’air ambiant et un air pur pour l’Europe) correspondent pour les principaux polluants au dernier objectif intermédiaire de l’OMS, les valeurs guides étant l’objectif à atteindre au plus tard en 2050. »

Source : SDES, Ineris/LCSQA, et DGEC. 2025. Bilan de la qualité de l’air extérieur en France en 2024.

Tableau 10. Valeurs guides de qualité de l’air recommandées par l’OMS en 2021, pour des expositions court terme (Source : Anses, 2021)

Polluant	Durée retenue pour le calcul des moyennes	Valeurs guides recommandées en 2021 (en µg/m³)	
		Valeur guide recommandée	Objectifs intermédiaires 1 2 3 4 <sup>d</sup>
PM <sub>2,5</sub>	24 heures <sup>a</sup>	15	75 50 37,5 25
PM <sub>10</sub>	24 heures <sup>a</sup>	45	150 100 75 50
O <sub>3</sub>	Pic saisonnier <sup>b</sup>	60	100 70
	8 heures <sup>a</sup>	100	160 120
NO <sub>2</sub>	24 heures <sup>a</sup>	25	120 50
SO <sub>2</sub>	24 heures <sup>a</sup>	40	125 50
IT : <i>intermediate target</i> <sup>a</sup> 99 <sup>ème</sup> percentile (3 à 4 jours de dépassement par an) <sup>b</sup> Moyenne de la concentration moyenne quotidienne maximale d’O <sub>3</sub> sur 8 heures au cours des six mois consécutifs où la concentration moyenne d’O <sub>3</sub> a été la plus élevée. <sup>c</sup> Classe « <i>niveaux importants : effets sanitaires significatifs ; proportion substantielle de populations vulnérables affectées.</i> » <sup>d</sup> L’objectif intermédiaire 4 recommandé en 2021 est équivalent à la valeur guide recommandée en 2005.			

**ANNEXE 4. TABLEAU RECAPITULATIF SUR LES VALEURS GUIDES DE L'OMS, LES SEUILS FRANÇAIS ET EUROPEENS AINSI QUE LES CONCENTRATIONS ASSOCIEES A DES EFFETS SANITAIRES**

**Tableau 11. Tableau récapitulatif sur les concentrations associées à des effets sanitaires, identifiées à partir des synthèses de la littérature scientifique (rapports ISA et méta-analyse de Orellano *et al.* 2020)**

Polluants	Valeurs guides court terme (24h) recommandées par l'OMS (2021) en $\mu\text{g.m}^{-3}$		SIR / SA FRANCE	SIR / SA UE	Données de la littérature	
	Valeur guide	Objectifs intermédiaires 1 2 3 4			Etudes épidémiologiques	Etudes d'EHC et toxicologiques
PM <sub>2,5</sub>	15	75 50 37,5 25	Absence de seuils	50 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 50 $\mu\text{g.m}^{-3}$ sur 3 jours consécutifs ou moins (moyenne journalière)	Concentrations observées associées aux effets cardiovasculaires, respiratoires et mortalité toutes causes non accidentelles inférieures aux seuils  Orellano <i>et al.</i> (2020) : relation linéaire entre concentration de PM <sub>2,5</sub> (moyenne 24 heures) et le risque de décès toutes causes non accidentelles et de causes spécifiques (respiratoires ou cardiovasculaires)  Wagner <i>et al.</i> (2023) : relation linéaire et supra-linéaire entre la concentration journalière d'exposition aux PM <sub>2,5</sub> et la mortalité non accidentelle et cardiovasculaire, ainsi qu'avec les hospitalisations pour causes cardiaques et respiratoires	Concentrations observées supérieures aux seuils excepté pour dysfonction endothéliale et pression artérielle (24 $\mu\text{g.m}^{-3}$ )

Polluants	Valeurs guides court terme (24h) recommandées par l'OMS (2021) en $\mu\text{g.m}^{-3}$		SIR / SA FRANCE	SIR / SA UE	Données de la littérature	
	Valeur guide	Objectifs intermédiaires 1 2 3 4			Etudes épidémiologiques	Etudes d'EHC et toxicologiques
PM <sub>10</sub>	45	150 100 75 50	50 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 80 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (moyenne journalière)	90 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 90 $\mu\text{g.m}^{-3}$ sur 3 jours consécutifs ou moins (moyenne journalière)	Concentrations observées associées aux effets cardiovasculaires, respiratoires et mortalité toutes causes non accidentelles inférieures aux seuils  Orellano <i>et al.</i> 2020 : relation linéaire entre la concentration en PM <sub>10</sub> et le risque de décès toutes causes non accidentelles et de causes spécifiques (respiratoires ou cardiovasculaires)  Wagner et al. (2023) : relation linéaire et supra-linéaire entre la concentration journalière d'exposition aux PM <sub>10</sub> et la mortalité non accidentelle et cardiovasculaire, ainsi qu'avec les hospitalisations pour causes cardiaques et respiratoires	Pas de données
O <sub>3</sub>	60 (pic saisonnier)	100 70	180 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 240 $\mu\text{g.m}^{-3}$	180 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 240 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pendant 3 h consécutives (moyenne horaire)	Concentrations observées associées aux effets respiratoires inférieures aux seuils, proche pour une baisse de la fonction ventilatoire (246 $\mu\text{g.m}^{-3}$ ).	Concentrations observées supérieures aux seuils excepté pour : diminution de la fonction ventilatoire (120 $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) augmentation des symptômes

Polluants	Valeurs guides court terme (24h) recommandées par l'OMS (2021) en $\mu\text{g.m}^{-3}$		SIR / SA FRANCE	SIR / SA UE	Données de la littérature	
	Valeur guide	Objectifs intermédiaires 1 2 3 4			Etudes épidémiologiques	Etudes d'EHC et toxicologiques
	100 (8h)	160 120	240 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pendant 3h consécutives* 300 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pendant 3h consécutives* 360 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pendant 1h* (moyenne horaire)		Orellano <i>et al.</i> 2020 : relation non linéaire entre concentration en $\text{O}_3$ et mortalité à court terme avec seuils entre 60-100 $\mu\text{g.m}^{-3}$  Wagner et al (2023) : relation non linéaire entre concentration en $\text{O}_3$ et mortalité (toutes causes non accidentelles et de causes cardiovasculaires) et hospitalisations (cardiaques et respiratoires)	respiratoires (140 $\mu\text{g.m}^{-3}$ ), augmentation de la réactivité des voies respiratoires (160 $\mu\text{g.m}^{-3}$ ), altération des paramètres ventilatoires (200 $\mu\text{g.m}^{-3}$ ), sensibilité accrue aux maladies infectieuses (160 $\mu\text{g.m}^{-3}$ ).
$\text{NO}_2$	25	120 50	200 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 400 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pendant 3 h consécutives 200 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en cas de persistance (moyenne horaire)	150 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 200 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pendant 3 h consécutives (moyenne horaire)	Concentrations observées associées aux effets respiratoires inférieures aux seuils, proche pour une baisse de la fonction ventilatoire, à de l'inflammation et des symptômes respiratoires (144 $\mu\text{g.m}^{-3}$ ).  Orellano <i>et al.</i> (2020) : relation non linéaire entre concentration de $\text{NO}_2$ (moyenne 24 heures) et mortalité à court terme avec un seuil à 37,6 $\mu\text{g.m}^{-3}$  Wagner et al (2023) : relation linéaire et supra-linéaire entre concentration en $\text{O}_3$ et mortalité (toutes causes non accidentelles et de causes cardiovasculaires) et hospitalisations (cardiaques et respiratoires)	Concentrations observées toutes supérieures aux seuils excepté pour : augmentation de la réactivité des voies respiratoires chez les adultes asthmatiques exposés au repos après une provocation non spécifique ou à un allergène (191 $\mu\text{g.m}^{-3}$ ).

Polluants	Valeurs guides court terme (24h) recommandées par l'OMS (2021) en $\mu\text{g.m}^{-3}$		SIR / SA FRANCE	SIR / SA UE	Données de la littérature	
	Valeur guide	Objectifs intermédiaires 1 2 3 4			Etudes épidémiologiques	Etudes d'EHC et toxicologiques
SO <sub>2</sub>	40	125 50	300 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 500 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pendant 3 h consécutives (moyenne horaire)	275 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pendant 3 h consécutives / 350 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pendant 3 h consécutives (moyenne horaire)	Concentrations observées associées aux effets respiratoires inférieures aux seuils	Concentrations observées toutes supérieures aux seuils.

\* Seuils d'alerte en O<sub>3</sub> pour la mise en œuvre progressive de mesures d'urgence

## ANNEXE 5. DETAILS DES ETUDES EPIDEMIOLOGIQUES (ALARI ET AL. (2021) ET WAGNER ET AL. (2023))

La première étude, de Alari *et al.* (2021), concerne la ville de Paris. Elle a évalué les effets potentiels des seuils d'information et de recommandation (SIR) et d'alerte (SA) pour les PM<sub>10</sub> sur la mortalité prématurée par différentes causes. L'étude a suivi une méthode quasi-expérimentale, se fondant sur les niveaux de PM<sub>10</sub> et les seuils instaurés dans la région parisienne en 2008, puis révisés à la baisse en 2011. Trois périodes ont été définies en fonction des dates de mise en œuvre des seuils pour les PM<sub>10</sub> :

- Phase 1 : la période du 1<sup>er</sup> janvier 2000 au 31 décembre 2007 sans l'existence de seuil (intitulée en anglais période *pre-intervention* dans l'article) ;
- Phase 2 : la période du 1<sup>er</sup> janvier 2008 au 29 novembre 2011, avec les seuils initiaux en vigueur - SIR = 80 µg.m<sup>-3</sup> et SA = 125 µg.m<sup>-3</sup> ;
- Phase 3 : la période du 30 novembre 2011 au 31 décembre 2015, avec des seuils révisés et plus protecteurs qu'en Phase 2 - SIR = 50 µg.m<sup>-3</sup> ; SA = 80 µg.m<sup>-3</sup>.

Pour la Phase 1, les jours éligibles ont été identifiés par les auteurs en suivant l'approche d'Airparif : il s'agit des jours pour lesquels au moins deux stations, dont une station de fond urbain, enregistraient une concentration moyenne journalière en PM<sub>10</sub> dépassant les seuils initiaux (voir Phase 2).

Au cours des phases 2 et 3, pendant lesquelles des seuils sont appliqués, les jours avec dépassement des SIR et SA<sup>28</sup> ont été définis à partir de la liste fournie par Airparif.

Une approche en différences-dans-les-différences (DID) couplée à un appariement par score de propension (PSM) a été utilisée pour évaluer l'efficacité de la mise en place du programme de surveillance de la qualité de l'air ainsi que du changement de seuil dans la prévention de la mortalité dans la région parisienne, en comparant la Phase 2 à la Phase 1, puis la Phase 3 à la Phase 2.

Cette approche se base sur les données journalières de mortalité pour la période 2000-2015, afin d'évaluer les effets des seuils sur la mortalité prématurée par différentes causes pour l'ensemble de la population et pour les adultes de plus de 75 ans.

Les résultats de cette étude concernant les PM<sub>10</sub> sont décrits dans la partie 3.2.2. de l'avis.

La seconde étude, de Wagner *et al.* (2023), a investigué la forme de la relation entre concentration journalière de PM<sub>10</sub>, de PM<sub>2,5</sub>, d'O<sub>3</sub> et de NO<sub>2</sub> et différentes causes de mortalité prématurée et d'hospitalisations. L'étude a suivi une méthode de série temporelle multicentrique, sur 18 villes en France métropolitaine entre 2000 et 2017, basée sur des modèles additifs généralisés quasi-Poisson. Quatre approches ont été comparées pour modéliser les courbes de concentration – risque : log-linéaire (modèle 1), linéaire par

<sup>28</sup> Compte tenu de la rareté des pics correspondant à un niveau d'alerte au cours de la période d'étude (19 événements), l'analyse n'a pas pu être réalisée sur les jours avec alerte uniquement.

morceaux avec points de rupture définis a priori (modèle 2), linéaire par morceaux sans point de rupture défini a priori (modèle 3), et spline cubique utilisant parmi les nœuds les points de rupture identifiés par les modèles 2 et 3 (modèle 4).

Les relations concentration – risque relatif issues des modèles 1 et 3 ont été extraites par digitalisation des figures. Les fractions (pourcentages) de décès prématurés et d'hospitalisations attribuables<sup>29</sup> (FA) à différentes valeurs prédéfinies de concentration en polluants ( $c$ ) ont ensuite été calculées par rapport à une concentration de référence nulle ( $c_0 = 0 \mu\text{g.m}^{-3}$ , soit  $\Delta c = c - c_0 = c$ ) à partir de l'équation :  $FA(c) = \frac{RR(c)-1}{RR(c)}$ .

Les valeurs de ( $c$ ) retenues correspondent aux valeurs guides et aux objectifs intermédiaires (IT) de l'OMS (WHO 2021) qui sont décrits en détail en Annexe 3, aux valeurs des SIR français et européens et à la valeur moyenne des concentrations mesurées dans les 18 villes françaises par Wagner *et al.* (2023). Autrement dit, les FA calculées correspondent à des fractions (pourcentages) de décès prématurés et d'hospitalisations attribuables à différentes concentrations d'exposition en polluants équivalentes à une valeur guide, un objectif intermédiaire de l'OMS, un SIR français ou européen ou la valeur moyenne des concentrations mesurées dans les 18 villes françaises.

Les résultats de cette étude concernant les  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{O}_3$  et  $\text{NO}_2$  sont décrits respectivement dans les parties 3.2.1. à 3.2.4. de l'avis.

---

<sup>29</sup> Les termes de « fraction attribuable » dans la population, aussi appelé « risque attribuable » ou « fraction étiologique » sont des mesures d'association entre un événement de santé (ex : décès, maladie, hospitalisation, passage aux urgences) et un facteur de risque (ex : concentration en polluant atmosphérique), qui se calculent pour des associations causales (entre l'évènement de santé et le facteur de risque). Ces termes sont utilisés pour quantifier l'excès de risque parmi les sujets exposés qui est dû à l'exposition, souvent évalué de façon relative : proportion de risque parmi les exposés qui serait éliminée si l'exposition était éliminée. Autrement dit, pour quantifier l'importance d'une exposition donnée au niveau de la population, on calcule la fraction attribuable dans la population qui quantifie la proportion de risque d'un événement de santé dans la population qui disparaîtrait si l'exposition était éliminée. [Source : définition élaborée à partir de « Gwenn Menvielle *et al.* Glossaire statistique et épidémiologique. Encyclopédie Médico-Chirurgicale, Pathologie professionnelle et de l'environnement »].

**ANNEXE 6. SUIVI DES MODIFICATIONS APPORTEES LE 30 JANVIER 2026 A LA VERSION DU 14 JANVIER 2026**

Numéro de page	Modification effectuée
Page 7	Ajout de précisions dans le Tableau 1 sur la notion de persistance pour le seuil d'information et de recommandation pour les particules PM <sub>10</sub> et l'ozone (O <sub>3</sub> ) avec un renvoi à l'Annexe 2.