

Le directeur général

Maisons-Alfort, le 30 septembre 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 »

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 d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part à l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.

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 12 août 2020 par La Direction générale de la santé (DGS) et la Direction générale de l'énergie et du climat (DGE) afin de fournir un avis sur la modification des seuils de déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant ».

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

1.1. Contexte

1.1.1. Définitions et dispositif réglementaire relatifs aux seuils de déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant

Les seuils de déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant sont réglementés dans le cadre du dispositif de surveillance de la qualité de l'air ambiant, selon les conditions définies aux articles R221-1 à R221-3 du Code de l'environnement. Ces seuils comprennent actuellement les « seuils d'information et de recommandation » et les « seuils d'alerte » pour les polluants suivants : les particules de diamètre aérodynamique médian inférieur à 10 µm PM₁₀¹, le dioxyde d'azote (NO₂), l'ozone (O₃) et le dioxyde de soufre (SO₂). Ils sont définis comme suit au sens de l'article 1 :

¹ « Particules passant dans un orifice d'entrée calibré dans les conditions prévues par arrêté du ministre chargé de l'environnement, avec un rendement de séparation de 50 % pour un diamètre aérodynamique de 10 µm. » (Légifrance 2016a)

- 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 (Légifrance 2016b). Au sens de l'article 1 de l'arrêté, les « épisode de pollution de l'air ambiant » y sont définis comme suit :

- épisode de pollution de l'air ambiant : « *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.* »
- épisode persistant de pollution aux PM₁₀ ou O₃ :
 - 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* » (CGDD 2020). Cette définition ne considère que les régions de métropole.

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 PM₁₀, le NO₂ et/ou l'O₃. En cas de modélisation de la qualité de l'air, le dépassement est considéré comme caractérisé sans attendre la confirmation par 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. Pour le SO₂, lorsque les mesures des cinq dernières années montrent des dépassements du seuil d'information et de recommandation, l'arrêté mentionné à l'article 5 précise le critère utilisé pour la caractérisation d'un épisode de pollution au SO₂.

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 peut être déléguée aux organismes agréés prévus à l'article L. 221-3 du même code de l'environnement (Légifrance 2012).

Une de ces 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 des solidarités et de la santé fournit des compléments d'information disponibles en ligne² sur les messages sanitaires à destination des populations vulnérables, des populations sensibles et de la population générale (MSS 2019).

1.1.2. Les épisodes de pollution de l'air ambiant en France

Des épisodes de pollution de l'air ambiant sont observés chaque année en France, d'intensité, d'ampleur géographique et de durée variables en fonction des conditions météorologiques sur le territoire. Les périodes de l'année concernées et les sources de pollution sont différentes en fonction des polluants.

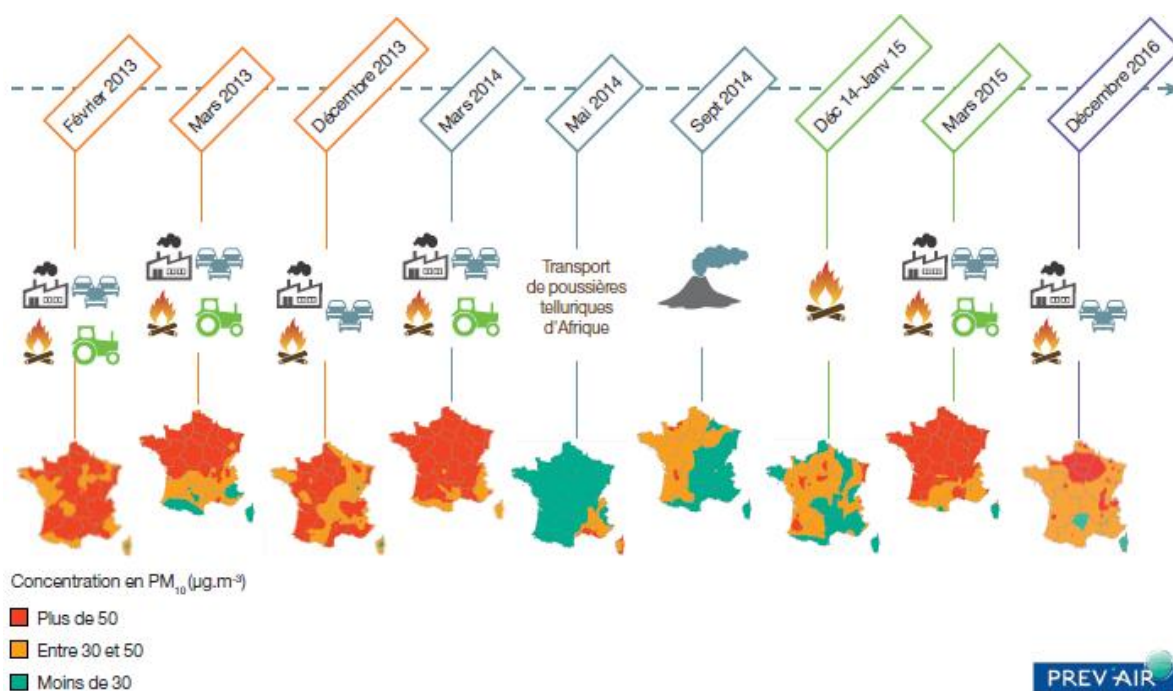
Les épisodes de pollution au NO₂ sont observés généralement durant l'hiver sous l'effet de conditions anticycloniques (CGDD 2020) qui limitent la dispersion de ce polluant émis majoritairement par le secteur des transports et en particulier par les véhicules diesel.

Aucun épisode important au SO₂ n'est rapporté depuis 2014 (CGDD 2020). Les hausses de concentrations rapportées pour ce polluant sont limitées essentiellement aux zones industrielles et à des durées n'excédant pas quelques heures. Elles peuvent également concerner les zones sous influence du transport maritime. Des événements naturels (éruptions volcaniques) peuvent également y contribuer.

Ces dernières années, les épisodes de pollution d'ampleur nationale, tels que définis par les seuils jusqu'alors en vigueur, ont exclusivement concerné les particules PM₁₀ et l'O₃.

Sur la période 2013-2017, les épisodes de pollution d'ampleur nationale sont essentiellement dus aux particules PM₁₀ (épisodes plus fréquents pour les particules que pour les autres polluants) (CGDD 2016, 2017, 2018), neuf épisodes majeurs pour les PM₁₀ se distinguant sur la période 2013-2016 (Figure 1). Les années 2018 et 2019 ont également été marquées par des épisodes de pollution aux PM₁₀ en métropole comme en outre-mer, ceux-ci étant cependant moins fréquents compte tenu des conditions météorologiques moins favorables à l'accumulation et la formation des particules sur ces deux années.

² <https://solidarites-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/air-exterieur/qualite-de-l-air-exterieur-10984/article/recommandations-en-cas-d-episode-de-pollution>



Source : PREVAIR, programme CARA



Figure 1 : Sélection d'épisodes de pollution aux PM₁₀ d'ampleur nationale depuis 2013 (CGDD 2017)

En début d'hiver, les épisodes liés aux PM₁₀ sont marqués par une quantité importante de matière organique liée aux phénomènes de combustion tels que le chauffage au bois, le brûlage des déchets verts, en plus des autres sources telles que les transports et l'industrie. Au printemps, les épisodes observés se singularisent par l'influence des activités agricoles (épandages d'engrais, effluents organiques), qui donnent lieu à la formation de particules secondaires, conjointement aux émissions de l'industrie et des transports. Des phénomènes naturels, comme le transport de poussières telluriques d'Afrique ou des éruptions volcaniques, peuvent également conduire à des épisodes de pollution, comme ceux fréquemment observés en Guyane, en Guadeloupe et à la Martinique.

Pour l'O₃, les épisodes interviennent de mai à septembre durant les périodes de fort ensoleillement. Les territoires affectés sont distants des centres de pollution (grandes agglomérations) et les agglomérations les plus touchées sont de ce fait celles de moyenne et de petite tailles (moins de 50 000 habitants) contrairement au NO₂ et aux PM₁₀. Les années 2016-2017-2018 ont été marquées par de forts épisodes de pollution à l'O₃ au niveau national, avec 40 agglomérations concernées (CGDD 2019). En 2018 et 2019, les épisodes d'ampleur nationale à l'O₃ ont été plus nombreux, notamment du fait de conditions météorologiques favorables à la production de ce polluant secondaire (rayonnement solaire) (CGDD 2019, 2020). Les niveaux ont été particulièrement élevés en 2019 avec 252 dépassements du seuil d'information et de recommandation rapportés durant l'été sur un total de 26 jours, touchant la plupart des régions métropolitaines, le Sud et l'Est demeurant les régions les plus concernées.

1.1.3. La révision de l'indice ATMO

A côté du dispositif réglementaire de déclenchement de mesures préfectorales visant à limiter les épisodes de pollution, l'article R. 221-5 du code de l'environnement prévoit la mise à disposition d'un indice de qualité de l'air, l'indice ATMO, calculé et publié chaque jour afin d'informer les citoyens sur l'état de la qualité de l'air et sa prévision pour le lendemain. C'est l'arrêté du 10 janvier 2000 qui marque la création de l'indice ATMO, remplacé par l'arrêté du 22 juillet 2004, modifié par l'arrêté du 21 décembre 2011. Ces dernières années, des travaux de révision de cet indice avaient été engagés sous l'égide d'ATMO France. Une nouvelle proposition incluait différentes variantes de construction de l'indice ATMO dont une basée sur les seuils de l'indice européen alors en vigueur. Un travail de l'Anses avait également accompagné ces propositions d'évolution en examinant différents aspects méthodologiques à la demande de la Direction Générale de l'Energie et du Climat (ANSES 2019). Bien que ces travaux aient recueilli un avis favorable du Conseil National de l'Air (CNA) en septembre 2019, c'est finalement une autre proposition qui a été retenue et qui est désormais appliquée en France depuis le 1^{er} janvier 2021, à savoir la grille de l'indice européen *European Air Quality Index* proposé en novembre 2019 par l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE 2019b) et intégrant de nouvelles modifications.

Afin de veiller à la cohérence des deux dispositifs, d'une part les mesures de gestion des épisodes de pollution et d'autre part l'indice informatif ATMO sur la qualité de l'air), comme cela existait jusqu'alors, et bien que l'indice ATMO soit à distinguer du dispositif de déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant, les autorités publiques ont donc décidé de lancer les travaux préalables à la modification du dispositif de déclenchement de mesures préfectorales d'ici fin 2021. Cette modification permettra d'introduire les particules de diamètre aérodynamique médian inférieur à 2,5 µm PM_{2,5} et de modifier les seuils des autres polluants afin que, pour tous les polluants, le seuil 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 ».

Conformément au courrier de saisine adressé à l'agence (cf. Annexe 2 du présent avis), « ces dispositions se concrétiseront par les modifications suivantes :

- Pour les PM_{2,5}, création du seuil d'information/recommandation à 25 µg/m³ et du seuil d'alerte à 50 µg/m³ ;
- Pour les PM₁₀, maintien du seuil d'information à 50 µg/m³ et passage du seuil d'alerte de 80 µg/m³ à 100 µg/m³ ;
- Pour le NO₂, passage du seuil d'information/recommandation de 200 µg/m³ à 120 µg/m³ et du seuil d'alerte de 400 µg/m³ à 230 µg/m³ ;
- Pour l'ozone, passage du seuil d'information/recommandation de 180 µg/m³ à 130 µg/m³ et maintien du seuil d'alerte à 240 µg/m³
- Pour le SO₂, passage du seuil d'information/recommandation de 300 µg/m³ à 350 µg/m³ et maintien du seuil d'alerte à 500 µg/m³. »

En application de l'article L.221-1 du code de l'environnement, une saisine de l'ANSES est requise pour modifier, par décret en Conseil d'Etat, l'article R 221-1 du code de l'environnement afin d'introduire, dans le dispositif de déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant, des seuils d'information et d'alerte pour les particules PM_{2,5} et de modifier les seuils d'information et d'alerte pour les autres polluants. La consultation du Conseil d'Etat a été annoncée au Conseil National de l'Air pour le 3^{ème} trimestre 2021.

1.2. Objet de la demande

L'Anses a donc été saisie pour formuler un avis sur la modification des seuils de déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant. Afin de formuler un avis circonstancié sur les modifications de seuils prévues, l'instruction de la saisine a été déclinée selon les quatre axes de travail suivants, conformément au contrat établi entre l'Anses et les demandeurs :

1. Analyser la méthode de construction des seuils actuels d'information/recommandation et d'alerte du dispositif de déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant ;
2. Analyser la méthode de construction des bornes³ de la grille de l'indice européen de la qualité de l'air défini par l'AEE, reprises pour le nouvel indice français ATMO, en particulier les bornes correspondant au passage d'un indice « dégradé » à « mauvais » et d'un indice « mauvais » à « très mauvais » retenus pour être respectivement les nouveaux seuil d'information/recommandation et d'alerte ;
3. Mettre en perspective ces nouveaux seuils d'information/recommandation et d'alerte proposés par les autorités publiques avec les données de la littérature épidémiologique et toxicologique ;
4. Quantifier la modification du risque induite par la modification des seuils.

2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

L'expertise relève du domaine de compétences du comité d'experts spécialisé (CES) « évaluation des risques liés aux milieux aériens ». 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 son comité d'experts spécialisé (CES) en charge de l'évaluation des risques liés aux milieux aériens (CES « Air »). Deux experts rapporteurs, membres du CES « Air » ont été mandatés afin de réaliser une relecture critique de l'avis. Les intervenants sont présentés en Annexe 1 du présent avis.

³ Afin d'éviter toute confusion, sont retenus dans la suite du document :

- le terme « borne » pour ce qui concerne les indices de qualité de l'air européen et français,
- et le terme « seuil » pour ce qui concerne les seuils d'information/recommandation et d'alerte prévus par le dispositif de déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant.

Les travaux ont été présentés au CES « Air » tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques entre le 8 octobre 2020 et le 10 septembre 2021. Ils ont été adoptés par le CES « Air » réuni le 10 septembre 2021.

Pour traiter l'axe de travail n°1 visant à analyser la méthode de construction des seuils d'information/recommandation et d'alerte actuels, l'agence s'est appuyée sur les textes réglementaires relatifs aux seuils d'information, de recommandation et d'alerte (Légifrance 2012, 2016a, 2016b), ainsi que sur les informations communiquées à sa demande par les services des ministères commanditaires.

Pour traiter l'axe de travail n°2 visant à analyser la méthode de construction des bornes de la grille de l'indice européen de la qualité de l'air défini par l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE), l'ANSES s'est appuyée sur le descriptif de la méthode de construction de l'*European Air Quality Index* disponible sur le site dédié de l'AEE⁴ et repris en Annexe 3 du présent avis, complété par des informations et précisions obtenues directement auprès de l'AEE.

Pour traiter l'axe de travail n°3 visant à mettre en perspective les nouveaux seuils proposés avec les données de la littérature épidémiologique et toxicologique, l'agence s'est appuyée sur les rapports d'évaluation scientifique intégrée (ISA) de l'US-EPA, qui constituent des synthèses de la littérature scientifique, récentes, parmi les plus exhaustives, évaluant le niveau de causalité des différents effets sanitaires associés aux PM_{2,5}, O₃, NO₂ et SO₂ et incluant les données épidémiologiques et toxicologiques (EPA 2016, 2017, 2019, 2020) afin d'en extraire les 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. Cette source d'information a été complétée par les données issues d'une méta-analyse plus récente d'études épidémiologiques publiées de par le monde (Orellano *et al.* 2020), ainsi que par les publications et rapports d'études épidémiologiques sur des villes en France spécifiquement (SpFrance 2019a, Host *et al.* 2008, Zeghnoun A 2001, InVS 2002, Pascal *et al.* 2014, InVS 2006, 2008, Pascal 2013).

Pour traiter l'axe de travail n°4 visant à quantifier la modification du risque induite par la modification des seuils, l'agence a mis en application un exercice d'Evaluation Quantitative d'Impact Sanitaire (EQIS) en s'appuyant notamment sur : le guide dédié de Santé Publique France (SpFrance 2019b), la liste des stations du dispositif national de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA/GEOD'AIR, date de mise à jour : 03/09/2020), les concentrations en polluants mesurées sur les stations de fond urbain en France et centralisées dans la base DiscoMap de l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE 2019a), des données de santé disponibles depuis la base de géodonnées Géodes (SpFrance 2020) et les données de recensement du nombre d'habitants (INSEE 2017). Par ailleurs, une audition de Santé Publique France s'est tenue le 25 juin 2021 en visioconférence afin d'apporter des éclairages méthodologiques sur les EQIS (indicateurs de santé, concordance entre seuils en concentration horaire et risques relatifs par incrément de concentration moyenne journalière).

⁴ <https://airindex.eea.europa.eu/Map/AQI/Viewer> « About the European Air Quality Index »

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 (Mai 2003) ».

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter 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 DU CES

3.1. Méthode de construction des seuils actuels d'information/recommandation et d'alerte

Les seuils d'information/recommandation et d'alerte actuellement en vigueur et prévus pour le déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant sont définis à l'article R221-1 du Code de l'environnement (Légifrance 2016a).

Sur la base de l'article R221-1 du Code de l'environnement et des informations communiquées à l'agence par les services de la Direction Générale de la Santé (DGS 2021), le tableau ci-dessous présente les valeurs, pas de temps et origines des seuils actuellement en vigueur.

Tableau 1 : Seuils actuels d'information/recommandation et d'alerte et source de ces seuils

| | Seuil d'information et de recommandation (art R 221-1 CE) | Source | Seuils d'alerte (art R 221-1 CE) | Source |
|------------------|---|------------------------------|--|---|
| NO ₂ | 200 µg/m ³ en moyenne horaire | Valeur guide de l'OMS (2005) | 400 µg/m ³ en moyenne horaire, dépassé pendant trois heures consécutives | Seuil d'alerte européen (Directive 2008/50/CE) |
| | | | 200 µg/m ³ 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 | Non identifiée |
| PM ₁₀ | 50 µg/m ³ en moyenne journalière selon des modalités de déclenchement définies par arrêté du ministre chargé de l'environnement | Valeur guide de l'OMS (2005) | 80 µg/m ³ en moyenne journalière selon des modalités de déclenchement définies par arrêté du ministre chargé de l'environnement | Ancien seuil d'information et recommandation (avant décret n° 2010-1250)* |
| SO ₂ | 300 µg/m ³ en moyenne horaire | Non identifiée | 500 µg/m ³ en moyenne horaire, dépassé pendant trois heures consécutives | Seuil d'alerte européen (Directive 2008/50/CE) |

| | | | | |
|----------------|---|---|--|--|
| O ₃ | 180 µg/m ³ en moyenne horaire | Seuil d'information européen (directive 2008/50/CE) | Seuil d'alerte pour une protection sanitaire pour toute la population : 240 µg/m ³ en moyenne horaire ; | Seuil d'alerte européen (Directive 2008/50/CE) |
| | | | Seuils d'alerte pour la mise en œuvre progressive de mesures d'urgence : -1er seuil : 240 µg/m ³ en moyenne horaire, dépassé pendant trois heures consécutives ; | Seuil d'alerte européen pour la mise en place de plans d'action à court terme (Directive 2008/50/CE) |
| | | | Seuils d'alerte pour la mise en œuvre progressive de mesures d'urgence : -2e seuil : 300 µg/m ³ en moyenne horaire, dépassé pendant trois heures consécutives ; | Non identifiée |
| | | | Seuils d'alerte pour la mise en œuvre progressive de mesures d'urgence : -3e seuil : 360 µg/m ³ en moyenne horaire. | Non identifiée |

* A noter un changement de l'indice ATMO suite à l'abaissement des seuils à l'époque.

Comme indiqué, les seuils d'information et de recommandation pour les PM₁₀ et le NO₂ se basent sur les valeurs guides « court terme » de qualité de l'air ambiant de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS 2006). Pour l'O₃, le seuil d'information/recommandation est basé sur le seuil d'information européen (directive 2008/50/CE). L'origine du seuil d'information/recommandation pour le SO₂ n'a pas été identifiée.

Compte tenu de l'origine des seuils actuels d'information et de recommandation, il est important de souligner la publication attendue prochainement d'une révision des valeurs guides de l'OMS (Jarosinska 2020).

Concernant les seuils d'alerte, ils sont basés sur les seuils d'alerte européens pour tous les polluants, à l'exception des PM₁₀ pour lesquelles il se base sur l'ancien seuil d'information et de recommandation (avant décret n° 2010-1250). Pour le NO₂ et l'O₃, pour lesquels il existe différents seuils d'alerte, l'origine de certains d'entre eux n'a pas été identifiée.

Compte tenu de l'origine des seuils actuels d'alerte, il est souligné la révision à venir de la réglementation européenne sur la qualité de l'air avec une adoption envisagée au troisième trimestre 2022 (Commission Européenne, 2021).

Les modalités et les techniques de surveillance concernant ces seuils actuels d'information/recommandation et d'alerte sont définies par l'arrêté du 26 août 2016 modifiant l'arrêté du 7 avril 2016 (Légifrance 2016b), notamment à l'article 2 qui précise que le dépassement d'un seuil de pollution est caractérisé :

« 1° Soit à partir d'un critère de superficie, dès lors qu'une surface d'au moins 100 km² au total dans une région est concernée par un dépassement de seuils d'ozone, de dioxyde d'azote et/ou de particules " PM₁₀ " 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 " PM₁₀ " 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_{10} " 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.

En cas de modélisation, le dépassement est considéré comme caractérisé sans attendre la confirmation par mesure de ce dépassement.

En l'absence de modélisation de la qualité de l'air, un épisode de pollution peut être caractérisé par constat d'une mesure de dépassement d'un seuil sur au moins une station de fond.

Pour le dioxyde de soufre, lorsque les mesures des cinq dernières années montrent des dépassements du seuil d'information et de recommandation, l'arrêté mentionné à l'article 5 précise le critère utilisé pour la caractérisation d'un épisode de pollution au dioxyde de soufre. »

3.2. Méthode de construction des bornes de l'indice *European Air Quality Index* retenus pour l'indice ATMO et pour les nouveaux seuils d'information/recommandation et d'alerte

3.2.1. Description de la méthode

L'indice européen de la qualité de l'air, repris en tant qu'indice ATMO en France, a pour objectif d'informer les citoyens sur la qualité de l'air là où ils vivent, travaillent ou voyagent, et se distingue donc des objectifs du dispositif des seuils d'information/recommandation et d'alerte. En affichant des informations à jour pour l'Europe, les personnes peuvent obtenir des informations sur la qualité de l'air dans chaque pays, région et ville.

Un descriptif de la méthode de construction des bornes de l'indice *European Air Quality Index* est disponible sur le site dédié de l'Agence Européenne de l'Environnement (<https://airindex.eea.europa.eu/Map/AQI/Viewer/> « About the European Air Quality Index », et repris en Annexe 3 du présent avis.

En résumé, l'indice est basé sur des valeurs de concentration et des « risques relatifs » (RR) de décès à court terme pour au maximum cinq polluants parmi les polluants suivants : PM_{10} , $PM_{2,5}$, O_3 , NO_2 et SO_2 . Le niveau de l'indice correspond à un niveau de qualité de l'air et est retenu à partir du polluant dont la concentration induit un niveau d'indice le plus défavorable. L'indice est calculé toutes les heures pour plus de deux mille stations de surveillance de la qualité de l'air à travers l'Europe, en utilisant des données mises à jour communiquées toutes les heures par les états membres à l'AEE. Ces données ne sont pas formellement vérifiées par les pays. 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 24 heures suivantes.

L'indice est calculé à partir des valeurs de concentration en polluants aux stations de fond et de proximité trafic, complétées si nécessaire par des données modélisées issues du service

de surveillance de l'atmosphère Copernicus de l'Union européenne (CAMS), pour les données prévisionnelles et pour combler les données mesurées manquantes ou absentes.

Les valeurs de concentration pour les polluants mesurés (donc pour les cinq polluants au maximum) déterminent le niveau de l'indice qui reflète la qualité de l'air sur chaque station de mesure. Les valeurs de concentrations sont :

- pour le NO₂, O₃ et SO₂ : des concentrations horaires
- pour les PM₁₀ et PM_{2,5} : des moyennes glissantes 24 heures, sur les dernières 24 heures si des valeurs sont disponibles pour au moins 18 des 24 heures

Le niveau de l'indice, qualifiant la qualité de l'air de « good » à « extremely poor », correspond au niveau calculé le plus défavorable parmi les cinq polluants, selon l'échelle dans le Tableau 2 qui présente les bornes, pour chaque polluant, séparant chaque niveau d'indice.

Tableau 2 : Bornes de concentration en polluants et niveaux correspondant de l'European Air Quality Index

| Pollutant | Index level (based on pollutant concentrations in µg/m ³) | | | | | |
|---|--|---------|----------|---------|-----------|----------------|
| | Good | Fair | Moderate | Poor | Very poor | Extremely poor |
| Particles less than 2.5 µm (PM _{2,5}) | 0-10 | 10-20 | 20-25 | 25-50 | 50-75 | 75-800 |
| Particles less than 10 µm (PM ₁₀) | 0-20 | 20-40 | 40-50 | 50-100 | 100-150 | 150-1200 |
| Nitrogen dioxide (NO ₂) | 0-40 | 40-90 | 90-120 | 120-230 | 230-340 | 340-1000 |
| Ozone (O ₃) | 0-50 | 50-100 | 100-130 | 130-240 | 240-380 | 380-800 |
| Sulphur dioxide (SO ₂) | 0-100 | 100-200 | 200-350 | 350-500 | 500-750 | 750-1250 |

Pour établir les bornes (valeurs de concentration) définissant les différents niveaux de l'indice, l'AEE a tout d'abord fixé celles pour les PM_{2,5}. L'AEE a ensuite déterminé les bornes correspondantes pour O₃ et NO₂ en utilisant les RR des PM_{2,5}, O₃ et NO₂ recommandés par l'OMS dans le projet Health Risks of Air Pollution in Europe - HRAPIE (OMS 2013) et en calculant les concentrations de O₃ et NO₂ amenant à des risques sanitaires (décès toutes causes) équivalents à ceux calculés pour les bornes de PM_{2,5}.

D'après les précisions apportées à la demande de l'agence par l'AEE (AEE 2021), les bornes ont été fixées pour les PM_{2,5} en utilisant la valeur guide de qualité de l'air court terme de l'OMS de 25 µg/m³ pour la borne entre « moderate » et « poor », et la valeur guide de qualité de l'air long terme de l'OMS de 10 µg/m³ pour la borne entre « fair » et « good », puis en essayant d'avoir des intervalles de concentrations équivalents dans les autres niveaux périphériques.

Dans le cas des bornes « poor »/ « very poor » et « very poor »/ « extremely poor », elles correspondent par ailleurs aux objectifs intermédiaires de l'OMS (interim target) 2 et 1 proposés dans le cadre des valeurs guides de qualité de l'air ambiant de l'OMS, soit 50 µg/m³ et 75 µg/m³ respectivement.

Ensuite, connaissant les RR de décès toutes causes associées à une exposition à court terme aux PM_{2,5}, NO₂ et O₃ suivants (OMS 2013) :

- RR_{PM_{2,5}} : 1,0123 (1,0045–1,0201) par incrément de 10 µg/m³ en concentration moyenne journalière
- RR_{O₃} : 1,0029 (1,0014–1,0043) par incrément de 10 µg/m³ en maximale journalière des concentrations moyennes 8 heures
- RR_{NO₂} : 1,0027 (1,0016–1,0038) par incrément de 10 µg/m³ en maximale journalière des concentrations moyennes 1 heure

Et en supposant une linéarité entre les fonctions de risques relatifs⁵ pour le NO₂ et l'O₃, les bornes des classes pour ces 2 polluants sont calculées en prenant comme bases les bornes et le RR des PM_{2,5}, respectivement C_{PM_{2,5}} et RR_{PM_{2,5}}, selon les équations suivantes⁶ :

$$C_{NO_2} = C_{PM_{2,5}} \times (\ln(RR_{PM_{2,5}}) \div \ln(RR_{NO_2}))$$
$$C_{O_3} = C_{PM_{2,5}} \times (\ln(RR_{PM_{2,5}}) \div \ln(RR_{O_3}) \times 1,2)$$

Pour l'O₃, comme les valeurs correspondent à des valeurs horaires et non à une moyenne 8 heures, une correction de 1,2 est appliquée. Cette correction se base sur la relation rapportée par l'AEE selon laquelle les concentrations moyennes 8 heures sont égales à la maximale des concentrations horaires divisée par un facteur 1,2.

En conséquence et à titre d'exemple, la méthode de calcul revient à considérer que pour avoir la même probabilité de décéder prématurément par rapport à une concentration C_{PM_{2,5}} de 10 µg/m³ (moyenne journalière), une concentration C_{O₃} de 42 µg/m³ (maximale journalière des concentrations moyennes 8 heures), soit 50 µg/m³ en concentration horaire après application du facteur de conversion 1,2, est nécessaire.

Pour les PM₁₀, comme HRAPIE ne recommande pas de RR pour les risques à court terme de décès toutes causes pour ce polluant, un *ratio* constant entre PM₁₀ et PM_{2,5} de 1:2 est supposé, « *en concordance avec les valeurs guides de qualité de l'air de l'OMS* ».

Enfin, pour le SO₂, comme pour les PM₁₀, HRAPIE ne recommande pas de RR pour les risques à court terme de décès toutes causes. Aussi, les bornes reflètent les normes réglementaires fixées sous la Directive européenne de la qualité de l'air.

⁵ Une « fonction de risques relatifs » (« relative risks functions ») correspond à une fonction reliant la concentration en polluant et le RR.

⁶ L'origine de ces équations (supposée par l'Anses car non explicite dans la méthode décrite par l'AEE) est apportée en Annexe 4.

Enfin les valeurs maximales du niveau « extremely poor » fixées (et non calculées selon les équation précitées) correspondent à un niveau au-delà duquel les concentrations horaires (gaz) et journalières (particules) mesurées sont considérées comme des valeurs aberrantes.

3.2.2. Analyse de la méthode

Le principe de la méthode repose sur le calcul de bornes en fonction d'une probabilité de décès prématuré qui se veut équivalente quel que soit le polluant. Il se base sur le polluant PM_{2,5} dont les effets sur la santé sont très largement documentés dans la littérature épidémiologique, pour déterminer les bornes des autres polluants (à l'exception du SO₂).

Les valeurs des bornes pour PM₁₀, NO₂ et O₃ ont été recalculées à partir des éléments de méthode décrits précédemment. Les valeurs sont bien retrouvées à l'exception des bornes « moderate »/ « poor » du NO₂ et « poor »/ « very poor » de O₃, dont les valeurs recalculées sont légèrement différentes de celles attendues (cf Tableau 3). Ces bornes de l'indice de 120 µg/m³ pour le NO₂ et de 240 µg/m³ pour l'O₃ sont par ailleurs reprises dans la proposition des nouveaux seuils d'information/recommandation et d'alerte. D'après les précisions apportées à l'agence (AEE 2021), la valeur de 240 µg/m³ pour l'O₃ (au lieu de 250 µg/m³) permet une équivalence avec la valeur du seuil d'alerte européen. Pour la borne du NO₂ fixée à 120 µg/m³ (au lieu de 110 µg/m³), l'Anses ne dispose pas d'explication pour cette légère différence.

Tableau 3 : Bornes de concentration en polluants de l'European Air Quality Index recalculées

| Pollutant | Index level (based on pollutant concentrations in µg/m ³) | | | | | | | | | | | |
|---|--|-----|------|-----|----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----|----------------|------|
| | Good | | Fair | | Moderate | | Poor | | Very poor | | Extremely poor | |
| Particles less than 2.5 µm (PM _{2.5}) | 0 | 10 | 10 | 20 | 20 | 25 | 25 | 50 | 50 | 75 | 75 | 800 |
| Particles less than 10 µm (PM ₁₀) | 0 | 20 | 20 | 40 | 40 | 50 | 50 | 100 | 100 | 150 | 150 | na |
| Nitrogen dioxide (NO ₂) | 0 | 45 | 45 | 91 | 91 | 120 113 | 120 113 | 227 | 227 | 340 | 340 | na |
| Ozone (O ₃) | 0 | 51 | 51 | 101 | 101 | 127 | 127 | 240 253 | 240 253 | 380 | 380 | na |
| Sulphur dioxide (SO ₂) | 0 | 100 | 100 | 200 | 200 | 350 | 350 | 500 | 500 | 750 | 750 | 1250 |

Bornes recalculées équivalentes à celles de l'European Air Quality Index

Bornes recalculées différentes de celles de l'European Air Quality Index

Bornes non sujettes au recalcul

na : non applicable

En termes de paramètres et de méthode de calcul de l'indice, certains points méritent par ailleurs d'être soulignés ou rappelés. Tout d'abord, la publication attendue prochainement d'une révision des valeurs guides de l'OMS pourrait amener à modifier les bornes PM_{2,5}.

Par ailleurs, le choix des RR recommandés dans le cadre du projet HRAPIE qui a été publié en 2013, pourrait également être révisé au regard des nombreux travaux épidémiologiques publiés depuis, incluant notamment les méta-analyses de Orellano *et al.* (2020), Liu *et al.* (2019) et de Meng *et al.* (2021).

Concernant la méthode de calcul, elle 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 et la concentration. Cette hypothèse est généralement admise, en particulier pour les PM_{2,5}, PM₁₀ et dans une moindre mesure pour le NO₂ pour lequel certaines études ont observé une relation non linéaire (mais en moyenne 24 heures). Pour l'O₃, plusieurs études ont observé une relation non linéaire (Orellano *et al.* 2020).

Concernant le choix de se baser sur un *ratio* constant entre les concentrations PM₁₀ et PM_{2,5} de 0,5 pour fixer les bornes PM₁₀, si cette valeur entre bien dans l'intervalle 0,4-0,8 des *ratios* journaliers généralement mesurés en Europe (Adães et Pires 2019, OMS 2006, 2013), sur la plupart des sites le *ratio* médian est supérieur à 0,5. Le projet HRAPIE de l'OMS recommandait l'utilisation d'un ratio PM_{2,5}/PM₁₀ de 0,65, considéré comme une moyenne pour la population européenne, afin de convertir des fonctions concentration-risque PM₁₀ pour les PM_{2,5}. Ce choix d'un *ratio* de 0,65 aurait conduit à des bornes en PM₁₀ d'environ 15 µg/m³ et 40 µg/m³ (au lieu de 20 µg/m³ et 50 µg/m³). Enfin, il convient de rappeler que ces valeurs moyennes du *ratio* masquent une forte variabilité dans le temps et l'espace, ce *ratio* étant fortement dépendant du type de station ou site (ex : fond versus trafic), de facteurs météorologiques (température, vitesse des vents et précipitation) et des différentes sources de pollution (Adães et Pires 2019, ANSES 2019). Ces considérations sont d'ailleurs du ressort des opérateurs de la surveillance de la qualité de l'air plus que de l'Anses, tout comme l'utilisation du facteur de conversion de 1,2 utilisé pour transformer une concentration horaire en O₃ en concentration moyenne 8 heures, pour lequel l'agence ne dispose pas d'élément d'appréciation.

3.2.3. Conclusions

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 niveaux de qualité de l'air qui représentent un risque de décès prématuré équivalent quel que soit le polluant considéré (à l'exception du SO₂ pour lequel l'OMS ne recommande pas de RR et dont les bornes reflètent les normes réglementaires fixées sous la Directive européenne de la qualité de l'air). 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. Cette hypothèse est valable pour la plupart des polluants dans la littérature épidémiologique (PM_{2,5}, PM₁₀ et dans une moindre mesure NO₂) mais elle ne semble cependant pas valable pour l'O₃.

Les principales limites portent sur les valeurs des bornes, finalement toutes basées sur les valeurs guides de l'OMS pour les PM_{2,5}, alors que ces valeurs guides sont amenées à être révisées prochainement, ainsi que sur des RR qui pourraient aussi être révisés.

Enfin, l'agence ne dispose pas d'explication sur la valeur de la borne d'indice « modéré/mauvais » du NO₂ de 120 µg/m³ en concentration horaire (au lieu de 110 µg/m³ recalculé).

3.3. Mise en perspective des nouveaux seuils d'information et d'alerte avec les données de la littérature épidémiologique et toxicologique

Les effets sanitaires et les données de concentration des études épidémiologiques et toxicologiques utilisées pour mettre en perspective les nouveaux seuils d'information et d'alerte proviennent des rapports d'évaluation scientifique intégrée (ISA) de l'US-EPA (EPA 2016, 2017, 2019, 2020). Dans ces rapports, 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. Seuls les effets correspondant à des relations « causales avérées » et « causales probables » ont été retenus, ce qui concerne notamment des effets respiratoires, des effets cardiovasculaires ou la mortalité totale. Ensuite, les concentrations les plus faibles et les plus fortes observées dans les travaux concernant ces effets ont été extraites des rapports ISA et mises en perspective avec les niveaux des seuils d'information et d'alerte.

Cette source d'information a été complétée par l'extraction des seuils d'effets sanitaires suggérés par une revue plus récente 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).

Les données épidémiologiques issues du Programme de surveillance air et santé (PSAS) de 2006 et 2008 (InVS 2006, 2008, Pascal 2013) ont également été extraites afin de mettre en perspective les nouveaux seuils pour les PM₁₀ et PM_{2,5} avec les excès de risques renseignés de mortalité et d'hospitalisations pour maladies cardiaques ou respiratoires en lien avec l'exposition à court terme aux particules fines en France.

3.3.1. Particules PM 2.5

L'exposition à court terme aux PM 2.5 est associée à différents **effets respiratoires** avec une relation classée comme **causale probable** selon le rapport ISA (EPA 2019). Des études épidémiologiques ont montré que l'exposition à court terme aux PM_{2,5} était associée à une augmentation des admissions à l'hôpital ou des visites aux urgences pour des exacerbations d'asthme, des exacerbations de la bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO), ou toutes maladies respiratoires ainsi qu'une augmentation de la mortalité pour cause respiratoire. Les concentrations journalières en PM_{2,5} associées à ces effets allaient de 4,7 à 69,9 µg/m³. Des études toxicologiques ont également montré que l'exposition aux PM_{2,5} était associée à des maladies respiratoires allergiques, à la BPCO et à une altération des défenses de l'organisme, avec des concentrations allant de 100 à 596 µg/m³ pour une durée d'exposition allant de 2 à 8 heures.

Parmi les effets associés à une exposition à court terme aux PM_{2,5}, les **effets cardiovasculaires** sont également rapportés avec une relation classée comme **causale avérée**. Des études épidémiologiques ont montré que l'exposition aux PM_{2,5} était associée à une augmentation des visites aux urgences et des admissions à l'hôpital liées aux maladies coronariennes et à une fréquence cardiaque élevée. Les concentrations journalières en PM_{2,5} associées à ces effets allaient de 5,8 à 18,6 µg/m³. Des études d'exposition humaine contrôlée

et des études toxicologiques ont montré que l'exposition aux PM_{2,5} était associée à un dysfonctionnement endothélial, à une pression artérielle élevée et à une altération de la fonction cardiaque avec une concentration allant de 24 à 353 µg/m³ 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_{2,5} et une augmentation de la **mortalité totale** avec une relation classée comme **causale avérée**. Les concentrations journalières en PM_{2,5} associées à cet effet sanitaire allaient de 4,4 à 69,9 µg/m³.

En général, une relation linéaire est observée entre la concentration en PM_{2,5} et le risque de décès toutes causes non accidentelles et de causes spécifiques (respiratoires ou cardiovasculaires), en cohérence avec les effets néfastes observés sur la santé même à de faibles concentrations ambiantes (Orellano *et al.* 2020).

Les concentrations moyennes les plus faibles et les plus fortes, en PM_{2,5} associées à des effets sanitaires que ce soit dans les études épidémiologiques, d'exposition humaine contrôlée et toxicologiques sont détaillées dans le Tableau 1 en Annexe 5.

Les concentrations les plus faibles et les plus fortes en PM_{2,5} associées à des effets sanitaires démontrées par les études épidémiologiques sont présentées dans la Figure 1. Les études épidémiologiques ont montré des associations entre des concentrations en PM_{2,5} inférieures aux seuils d'information et d'alerte et des effets sanitaires, dans les études européennes entre autres (Figure 1, et Tableau 1 en Annexe 5). Cependant, cette mise en perspective ne doit pas être surinterprétée car la présence d'une association telle que représentée n'intègre pas l'amplitude des estimations de risque observées dans les études. Une estimation des excès de risque relatif (ERR)⁷ intégrant les seuils d'information et d'alerte et la concentration moyenne des polluants est une approche permettant de pallier à cette limite.

Les études épidémiologiques françaises ont montré un ERR de mortalité totale de 1,7% ainsi qu'un ERR d'hospitalisations pour pathologies cardiaques ou respiratoires de 1,4 à 2,5% pour une augmentation de 10 µg/m³ de la concentration moyenne journalière en PM_{2,5}, avec une concentration moyenne journalière mesurée dans les villes se situant entre 15,1 à 15,7 µg/m³ selon l'effet étudié (Pascal 2013)⁸. Les seuils d'information et d'alerte, nouvellement proposés pour les PM_{2,5}, sont des concentrations moyennes journalières de 25 µg/m³ et 50 µg/m³ respectivement. Les ERR de mortalité et d'hospitalisations pour pathologies cardiaques ou respiratoires associés à une journée d'exposition à une concentration en PM_{2,5} équivalente à ces seuils d'information ou d'alerte par rapport à une journée d'exposition à la concentration moyenne ont été calculés pour le présent document et sont présentés dans la Figure 2. A titre

⁷ L'excès de risque relatif (ERR) est une mesure du changement du risque relatif de maladie ou de décès (le plus souvent, par unité de dose reçue) pour un groupe d'individus qui sont exposés à un niveau connu, par rapport à ceux qui ne sont pas exposés (ERR=RR-1) ou encore pour deux groupes d'individus de niveaux d'exposition différents (ERR₂₁=RR₂-RR₁ pour des niveaux d'exposition 1 et 2) (source : <http://ipubli-inserm.inist.fr/bitstream/handle/10608/102/?sequence=80>).

ERR = RR - 1 = e^{(Δ * (ln(RR) / x))} - 1 où Δ : différentiel entre seuil d'information ou d'alerte et concentration moyenne en polluant ; RR : risque relatif observé ; x : incrément en µg/m³ ou en IQR (interquartile range).

⁸ ERR et concentration moyenne issus de l'étude sur 9 villes françaises sur la période de 2000 à 2006 pour la mortalité et sur 8 villes françaises sur la période de 1998-2003 pour les hospitalisations (données collectées du rapport du Programme de surveillance air et santé (PSAS) 2008 et 2006)

d'exemple, l'excès de risque de mortalité totale non accidentelle est de 1,68% (IC à 95% 0,40-2,97%) pour une journée d'exposition à une concentration en PM_{2,5} équivalente au seuil d'information (25 µg/m³) par rapport à une journée d'exposition à la concentration moyenne qui est 15,1 µg/m³. Cet excès de risque s'élève à 6,06% (IC à 95% 1,40-10,87%) pour une journée d'exposition équivalente au seuil d'alerte (50 µg/m³).

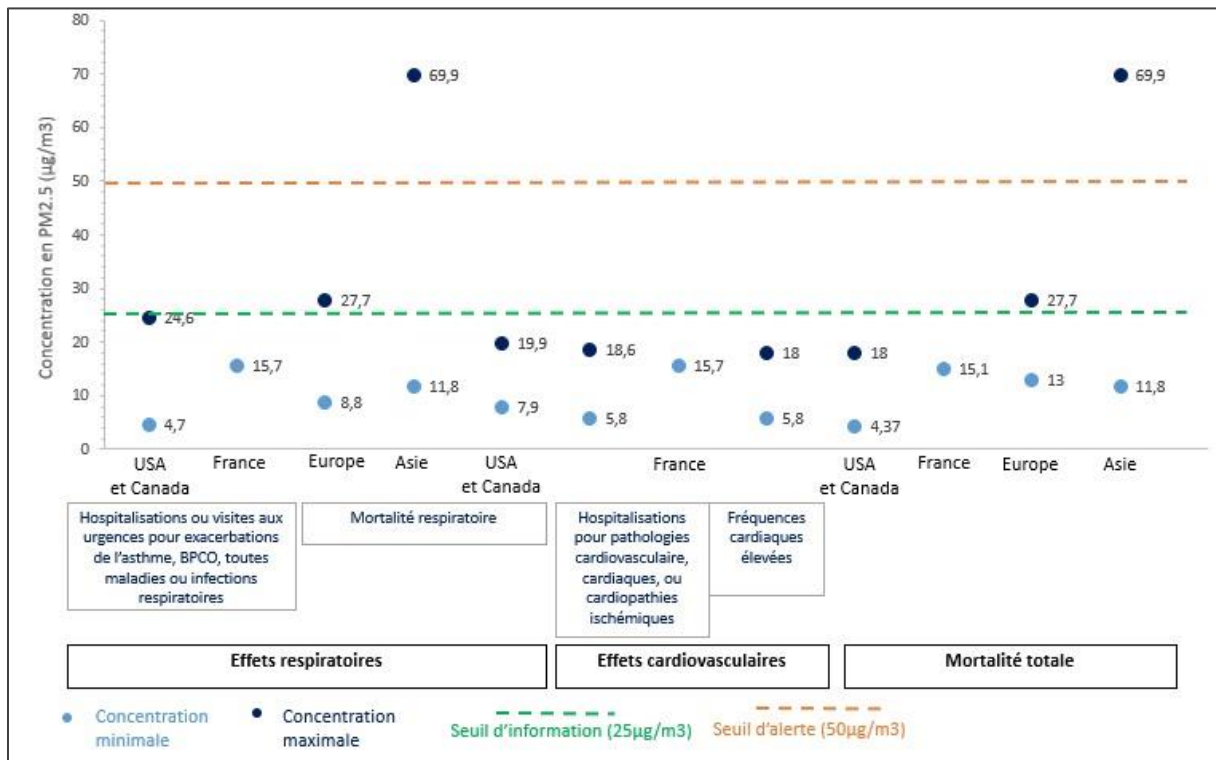


Figure 1 : Concentrations en PM_{2,5} la plus faible et la plus forte sur une durée d'exposition de 24h moyenne associées à des effets respiratoires et cardiovasculaires et à la mortalité totale dans les études épidémiologiques (données extraites de (EPA 2019), la zone géographique est mentionnée si renseignée dans le rapport de l'EPA).

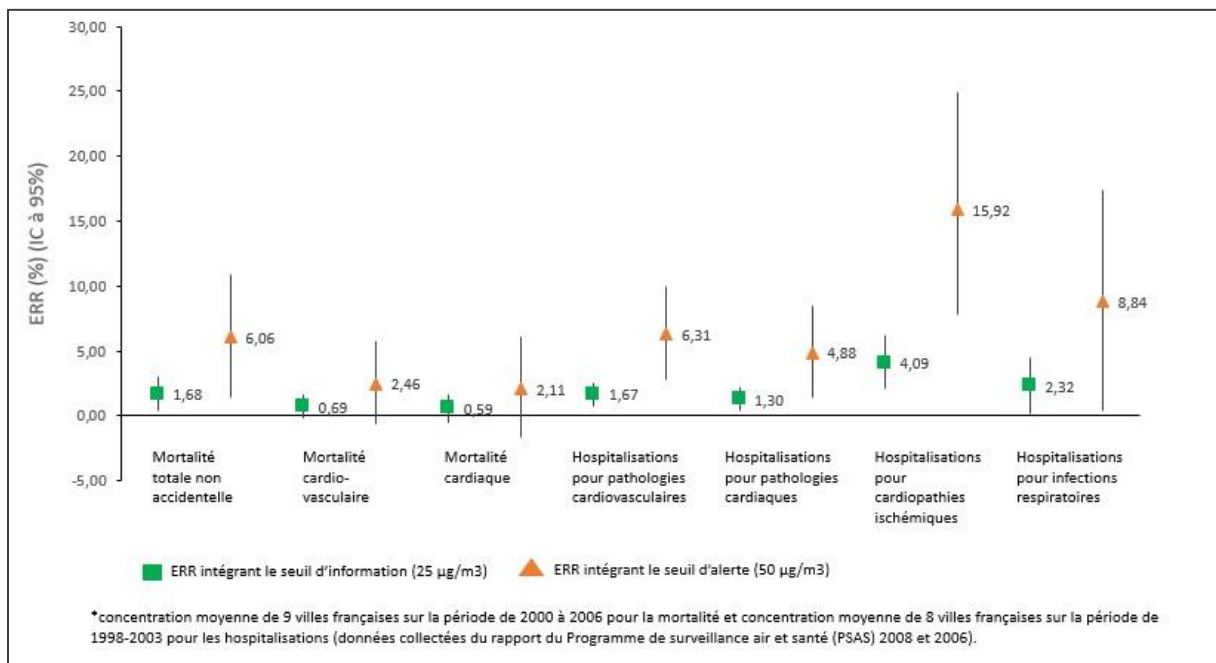


Figure 2 : Excès de Risque Relatif (en %) de décès et d'hospitalisations associé à une journée d'exposition à une concentration en PM_{2,5} équivalente au seuil d'information/recommandation ou au seuil d'alerte par rapport à une journée d'exposition à la concentration moyenne (calculés à partir des données du PSAS (InVS 2006, 2008, Pascal 2013))

Les concentrations les plus faibles et les plus fortes en PM_{2,5} associées à des effets sanitaires démontrées par les études d'exposition humaine contrôlée et les études toxicologiques sont présentées dans la Figure 3. Les concentrations en PM_{2,5} associées à des effets sanitaires dans ces études d'exposition humaine contrôlée et toxicologiques (Figure 3, Tableau 1 en Annexe 5) sont supérieures aux seuils d'information et d'alerte à l'exception de la concentration en PM_{2,5} associée à un dysfonctionnement endothélial et une pression artérielle élevée qui était de 24 µg/m³. Cependant, comme dans les études épidémiologiques, cette mise en perspective ne doit pas être surinterprétée. 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.

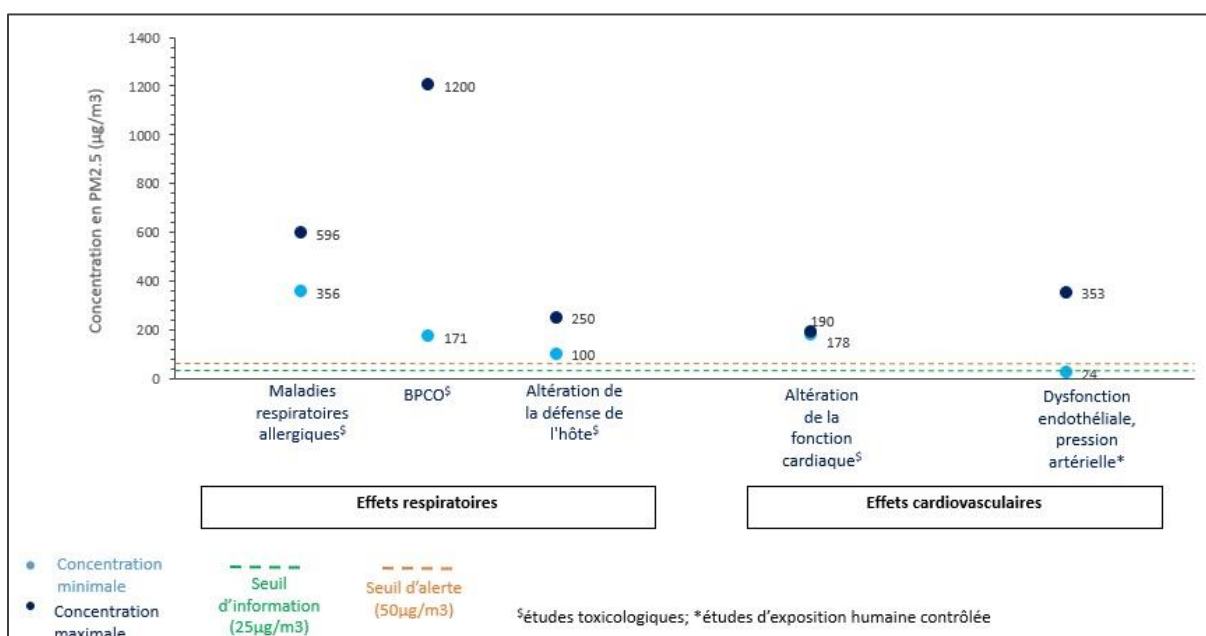


Figure 3 : Concentrations en PM_{2,5} la plus faible et la plus forte sur une durée d'exposition allant de 2 à 8h associées à des effets respiratoires et cardiovasculaires dans les études d'exposition humaine contrôlée et les études toxicologiques (données extraites de (EPA 2019)).

3.3.2.Particules PM₁₀

Les études épidémiologiques françaises ont montré un ERR de mortalité totale de 0,8%, de mortalité cardiaque et cardiovasculaire de 0,9% ainsi qu'un ERR d'hospitalisations pour pathologies cardiovasculaires et respiratoires de 0,7 à 1,9% pour une augmentation de 10 µg/m³ de la concentration moyenne journalière en PM₁₀, et avec une concentration moyenne journalière mesurée dans les villes se situant entre 22,8 et 23,1 µg/m³ selon l'effet étudié (Pascal 2013)⁹. Les seuils d'information et d'alerte, nouvellement proposés pour les PM₁₀, sont respectivement des concentrations moyennes journalières de 50 µg/m³ et

⁹ ERR et concentration moyenne issus de l'étude sur 9 villes française sur la période de 2000 à 2006 pour la mortalité et sur 6 villes française sur la période de 1998-2003 pour les hospitalisations (données collectées du rapport du Programme de surveillance air et santé (PSAS) 2008 et 2006).

100 µg/m³. Les ERR calculés de mortalité et d'hospitalisations pour pathologies cardiaques ou respiratoires associés à une journée d'exposition à une concentration en PM₁₀ équivalente à ces seuils d'information ou d'alerte par rapport à une journée d'exposition à la concentration moyenne sont présentés dans la Figure 4. A titre d'exemple, l'excès de risque de mortalité totale non accidentelle est de 2,2% (IC à 95% 0,5-4,1%) pour une journée d'exposition à une concentration en PM₁₀ équivalente au seuil d'information par rapport à une journée d'exposition à la concentration moyenne qui est 22,8 µg/m³. Cet excès de risque s'élève à 6,3% (IC à 95% 1,6-12,2%) pour une journée d'exposition équivalente au seuil d'alerte.

De même que pour les PM_{2,5}, une relation linéaire est généralement observée entre la concentration en PM₁₀ et le risque de décès toutes causes non accidentelles et de causes spécifiques (respiratoires ou cardiovasculaires), en cohérence avec les observations d'effets néfastes sur la santé même à de faibles concentrations ambiantes (Orellano *et al.* 2020).

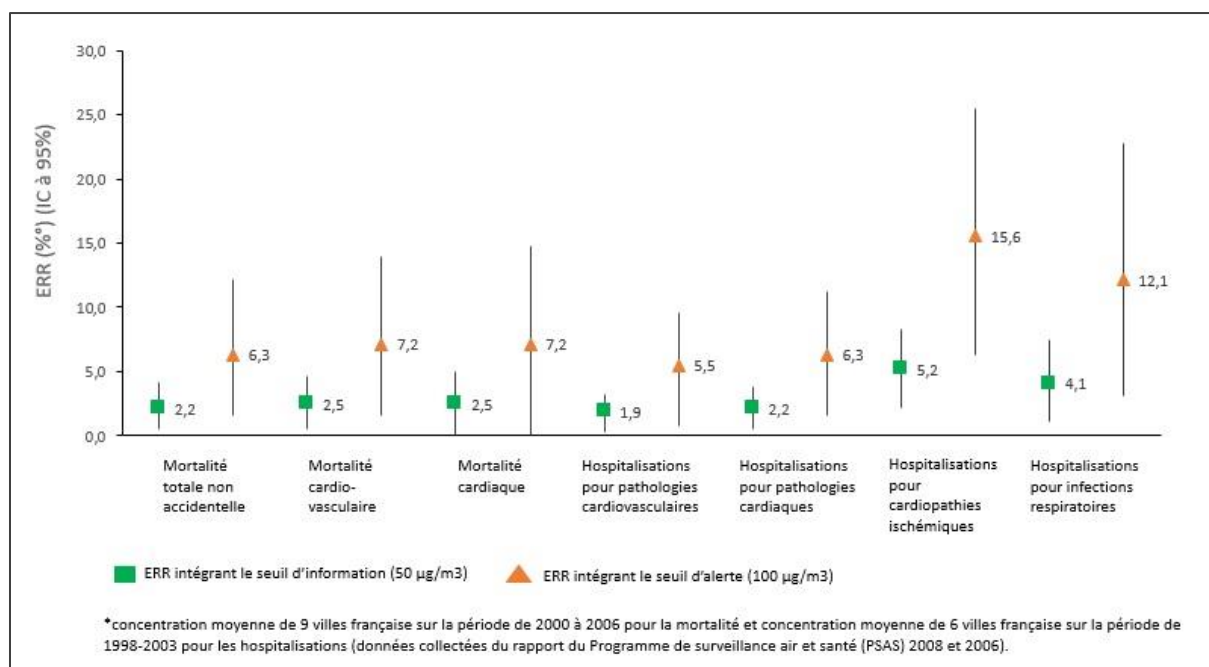


Figure 4 : Excès de Risque Relatif (en %) de décès et d'hospitalisations associés à une journée d'exposition à une concentration en PM₁₀ équivalente au seuil d'information/recommandation ou au seuil d'alerte par rapport à une journée d'exposition à la concentration moyenne (calculés à partir des données du PSAS (InVS 2006, 2008, Pascal 2013))

3.3.3. Ozone (O₃)

L'exposition à court terme à l'ozone est associée à différents **effets respiratoires** avec une relation classée par le rapport ISA comme **causale avérée** (EPA 2020). Concernant les effets respiratoires chez des sujets sains, des études épidémiologiques ont montré des associations entre l'exposition à l'ozone et une baisse de la fonction ventilatoire ainsi qu'une inflammation pulmonaire chez des sujets en bonne santé avec des concentrations en moyenne glissante sur 1h à 8h allant de 63,2 à 246 µg/m³. Des études d'exposition humaine contrôlée ont montré que l'ozone était associé à une diminution de la fonction ventilatoire, une augmentation des symptômes respiratoires, une augmentation de la réactivité des voies respiratoires, ainsi qu'à

de l'inflammation, des lésions pulmonaires et du stress oxydant chez des sujets sains ; les concentrations moyennes sur 2 à 18h d'exposition associées à ces différents effets allaient de 120 à 2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De même, des études toxicologiques ont montré que l'exposition à l'ozone était associée à une altération des paramètres ventilatoires, à de la toux, à une augmentation de la réactivité des voies respiratoires, à des lésions pulmonaires, et à une inflammation, du stress oxydant et une réponse immunitaire de type 2 des voies respiratoires inférieures et supérieures. Les concentrations moyennes en ozone sur 30min à 4h d'exposition associées à ces effets allaient de 200 à 4000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

L'exposition à l'ozone était également associée à l'exacerbation de l'asthme ainsi qu'à d'autres effets respiratoires chez des patients asthmatiques. Ainsi, des études épidémiologiques chez des patients avec un asthme sévère ont montré des associations avec l'augmentation des admissions à l'hôpital et des visites aux urgences liées à l'asthme avec des moyennes journalières ou des concentrations moyennes maximales sur 8h allant de 45,0 à 107,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Des études de panels chez des enfants asthmatiques ont montré des associations avec des symptômes respiratoires, une baisse de la fonction ventilatoire et une inflammation pulmonaire avec des concentrations moyennes maximales sur 1h ou sur 8h allant de 63,2 à 131,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Des études toxicologiques ont montré que l'ozone était associé à une augmentation de la réponse allergique, à une bronchoconstriction, à une réactivité des voies respiratoires, et à une altération des paramètres ventilatoires avec des concentrations allant de 200 à 4000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une durée d'exposition allant de 3 heures à 10 jours.

Des études épidémiologiques chez des patients atteints de BPCO sévère ont montré que l'exposition à l'ozone était associée à une augmentation des visites aux urgences liées à la BPCO avec des concentrations moyennes journalières ou horaires allant de 36,8 à 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Une étude toxicologique a montré que l'exposition à l'ozone était associée à une augmentation des lésions, à de l'inflammation et du stress oxydant ainsi qu'à une modification de la morphologie et de la mécanique pulmonaire dans un modèle animal (rongeurs) de BPCO avec une concentration sur 3 heures de 1600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Concernant les infections respiratoires, des études épidémiologiques ont montré une association entre l'exposition à l'ozone et une augmentation des visites aux urgences pour pneumonie, pour infection respiratoire aiguë, et pour infection des voies respiratoires supérieures avec des concentrations moyennes journalières ou des concentrations moyennes maximales sur 1 heure ou 8 heures en ozone allant de 45 à 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Des études toxicologiques ont montré une sensibilité accrue aux maladies infectieuses ainsi qu'une augmentation de la réponse inflammatoire aux maladies infectieuses avec des concentrations sur 3 heures allant de 160 à 4000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Des études épidémiologiques ont également montré des associations entre l'exposition à l'ozone et une augmentation des admissions à l'hôpital et des visites aux urgences liées à toutes maladies respiratoires comme la BPCO, l'asthme, ou la bronchite. Les concentrations moyennes maximales sur 1h ou sur 8 h associées à ces effets allaient de 61,4 à 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Des études épidémiologiques ont également montré une augmentation de la mortalité en réponse à une exposition à court terme à l'ozone avec des concentrations moyennes journalières ou des concentrations moyennes maximales sur 1h ou sur 8h allant de 13,4 à 125,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

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

En plus des effets respiratoires, l'exposition à court terme à l'ozone est également associée à des **effets métaboliques** avec une relation classée comme **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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une durée d'exposition allant de 3 à 5 heures.

Le Tableau 2 en Annexe 5 décrit plus en détail les concentrations la plus faible et la plus forte en ozone associées à chaque effet sanitaire dans les études épidémiologiques, les études d'exposition humaine contrôlée et les études toxicologiques. 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 5 et celles démontrées par les études d'exposition humaine contrôlée et les études toxicologiques sont présentées dans la Figure 6.

Les seuils d'information et d'alerte nouvellement proposés pour l'ozone sont respectivement des concentrations maximales horaires journalières de 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dans les études épidémiologiques, les concentrations moyennes associées à des effets sont le plus souvent inférieures aux seuils d'information et d'alerte à l'exception de la concentration liée à une baisse de la fonction ventilatoire qui est de 246 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figure 5 et Tableau 2 en Annexe 5). Les concentrations en ozone associées à des effets sanitaires dans les études d'exposition humaine contrôlée et les études toxicologiques sont supérieures au seuil d'information/recommandation (Figure 6 et Tableau 2 en Annexe 5), à l'exception d'une étude d'exposition humaine contrôlée observant une diminution de la fonction ventilatoire associée à une concentration de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Par rapport au seuil d'alerte, en plus de cette étude, d'autres études d'exposition humaine contrôlée observent des effets à des concentrations inférieures au niveau du seuil : une augmentation des symptômes respiratoires (140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et une augmentation de la réactivité des voies respiratoires (160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). C'est également le cas d'études d'expérimentation animale observant une altération des paramètres ventilatoires (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et une sensibilité accrue aux maladies infectieuses (160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Cependant, ces mises en perspective ne doivent pas être surinterprétées en raison de la différence de méthode et la non transposition directe de l'animal à l'humain.

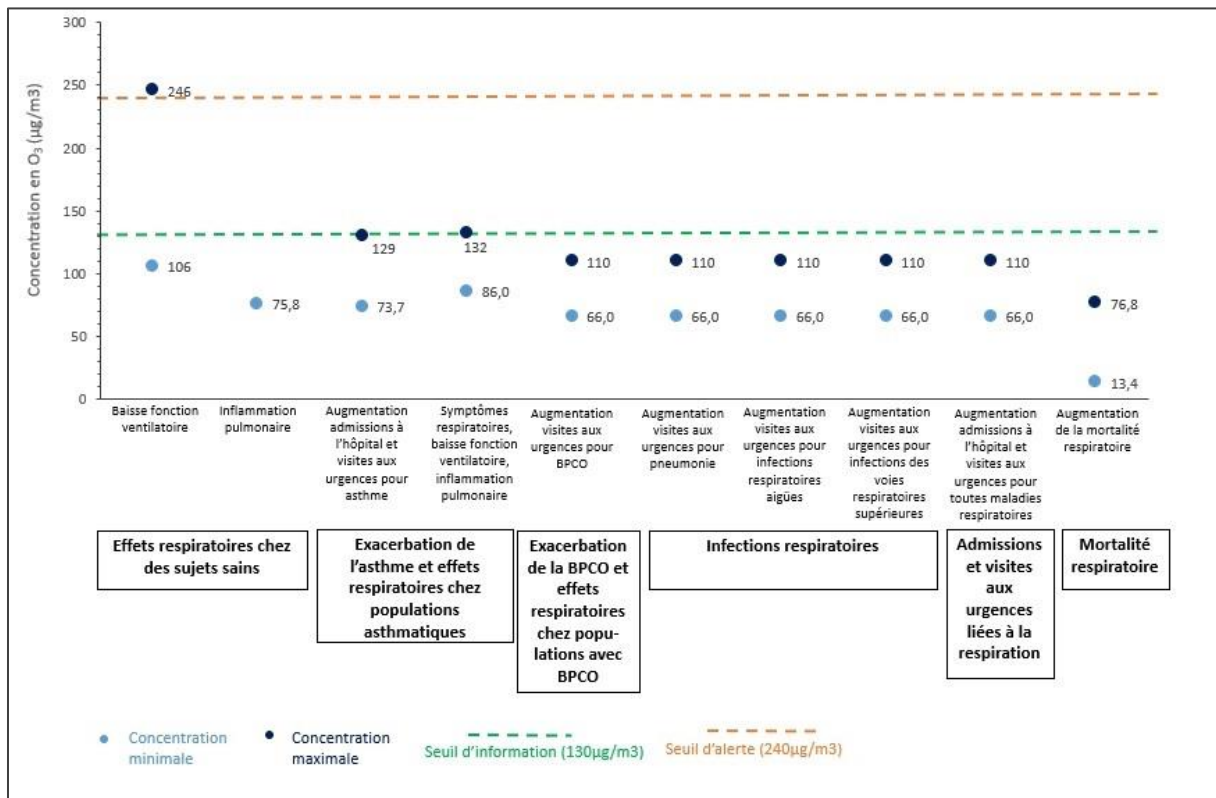


Figure 5 : Concentrations en O₃ la plus faible et la plus forte sur une durée d'exposition d'une heure maximum associées à des effets respiratoires dans les études épidémiologiques (données extraites de (EPA 2020)).

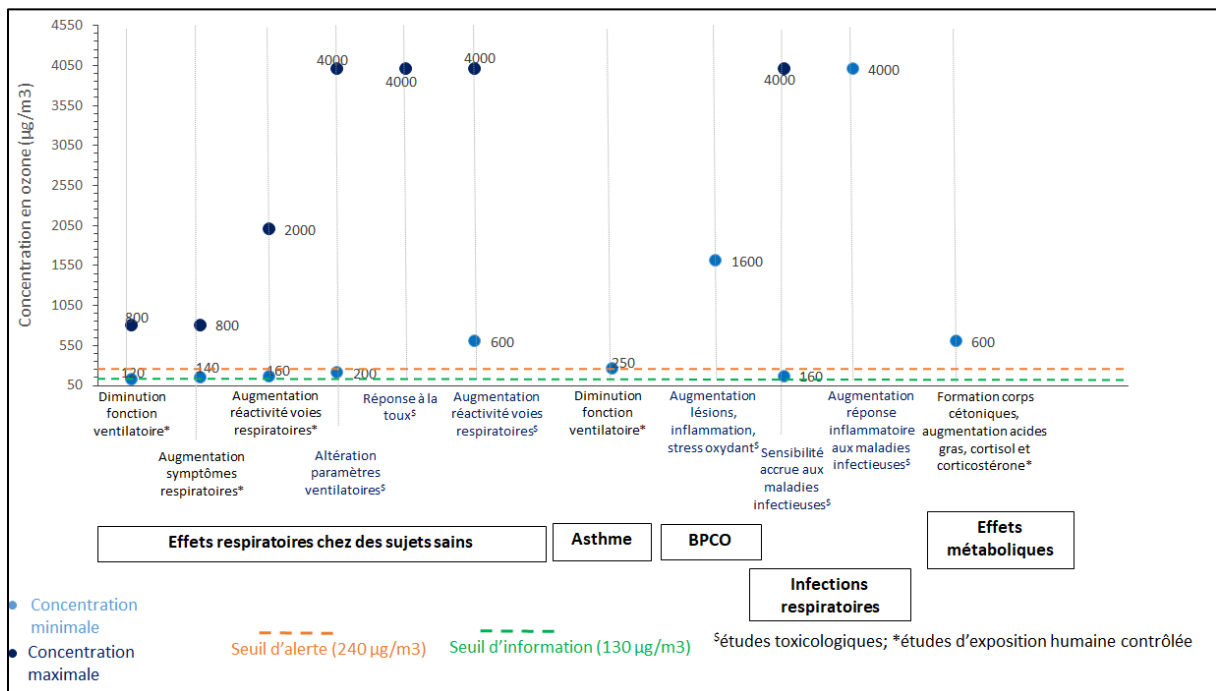


Figure 6 : Concentrations en O₃ la plus faible et la plus forte sur une durée d'exposition allant de 30min à 6,6h associées à des effets respiratoires et métaboliques dans les études toxicologiques et les études d'exposition humaine contrôlée (données extraites de (EPA 2020)).

3.3.4. Dioxyde d'azote (NO₂)

L'exposition à court terme au NO₂ est associée principalement à des **effets respiratoires** avec une relation classée par le rapport ISA comme **causale avérée** (EPA 2016).

Les effets concernent notamment des exacerbations de l'asthme. Des études épidémiologiques ont montré que l'exposition au NO₂ était associée à une baisse de la fonction ventilatoire, à une inflammation pulmonaire, à des symptômes respiratoires et à une augmentation des admissions à l'hôpital et des visites aux urgences liées à l'asthme avec des concentrations moyennes journalières ou horaires allant de 6,5 à 144,4 µg/m³. Des études d'exposition humaine contrôlée ont également montré une augmentation de la réactivité des voies respiratoires chez des adultes asthmatiques exposés au repos après une provocation non spécifique à un allergène, des réponses allergiques (augmentation de l'activation des éosinophiles, des IgE, des cytokines Th2) ainsi qu'une réduction doublée de la dose provocatrice en réponse au NO₂ à des concentrations allant de 191,2 à 1111 µg/m³ sur une durée d'exposition allant de 30min à 6 heures.

Les effets concernent également des exacerbations de la BPCO. Chez les patients atteints de BPCO, des études épidémiologiques ont montré une association entre l'exposition au NO₂ et une augmentation des visites aux urgences et des admissions à l'hôpital liées à la BPCO avec des concentrations moyennes journalières ou maximales horaires allant de 46,08 à 120,5 µg/m³. Une étude d'exposition humaine contrôlée a montré une baisse de la fonction ventilatoire suite à une exposition à une concentration sur 1h en NO₂ de 573,6 µg/m³.

Concernant les infections respiratoires, des études épidémiologiques ont montré une association entre le NO₂ et une augmentation des visites aux urgences et des admissions à l'hôpital pour infection respiratoire avec des concentrations moyennes journalières en NO₂ allant de 17,78 à 66,16 µg/m³. Des études toxicologiques ont montré une mortalité par infection bactérienne ou virale chez des modèles animaux suite à une exposition à des concentrations en NO₂ allant de 2868 à 9560 µg/m³ sur une durée d'exposition allant de 1h à 7,5h.

Des études épidémiologiques multicentriques ont montré une association entre l'exposition au NO₂ et la mortalité respiratoire avec des concentrations moyennes journalières allant de 25,81 à 106,1 µg/m³.

Concernant les effets respiratoires chez des sujets sains, une étude épidémiologique a montré des associations entre l'exposition au NO₂ et des symptômes respiratoires chez des enfants avec une concentration moyenne journalière de 24,86 µg/m³. Des études d'exposition humaine contrôlée ont montré que l'exposition au NO₂ était associée à une augmentation de la réactivité des voies respiratoires chez des adultes, à des symptômes respiratoires, à une baisse de la fonction ventilatoire chez des adultes, et à de l'inflammation (augmentation des cellules polymorphonucléaires et des prostaglandines) avec des concentrations allant de 382,4 à 7648 µg/m³ sur une durée d'exposition allant de 20min à 5h.

D'après la revue systématique d'Orellano (Orellano *et al.* 2020), certaines études ont observé une relation non linéaire entre la concentration de NO₂ (moyenne 24 heures) et la mortalité à court terme, avec un seuil potentiel d'apparition d'effet se situant à 37,6 µg/m³.

Une récente méta-analyse sur 18 zones en France métropolitaine a également observé une association positive significative entre la mortalité et la concentration de NO₂ (moyenne 24 heures) mesurée la veille et le jour-même, sur la période 2010-2014 (SpFrance 2019a).

Le Tableau 3 en Annexe 5 décrit plus en détail les concentrations la plus faible et la plus forte en NO₂ associées à chaque effet sanitaire. Les concentrations la plus faible et la plus forte en NO₂ 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 et les études toxicologiques.

Les seuils d'information et d'alerte, nouvellement proposés pour le NO₂ sont respectivement des concentrations maximales horaires journalières de 120 µg/m³ et 230 µg/m³. Dans les études épidémiologiques, les concentrations recensées sont le plus souvent inférieures aux seuils d'information et d'alerte à l'exception de la concentration liée à une baisse de la fonction ventilatoire, à de l'inflammation et des symptômes respiratoires qui est de 144,4 µg/m³ (Figure 7 et Tableau 3 en Annexe 5). Les concentrations en NO₂ associées à des effets sanitaires dans les études d'exposition humaine contrôlée et les études toxicologiques sont toutes supérieures à ces seuils (Figure 8 et Tableau 3 en Annexe 5). Cependant, ces mises en perspective ne doivent pas être sur-interprétées pour les mêmes raisons que celles citées précédemment pour les autres polluants.

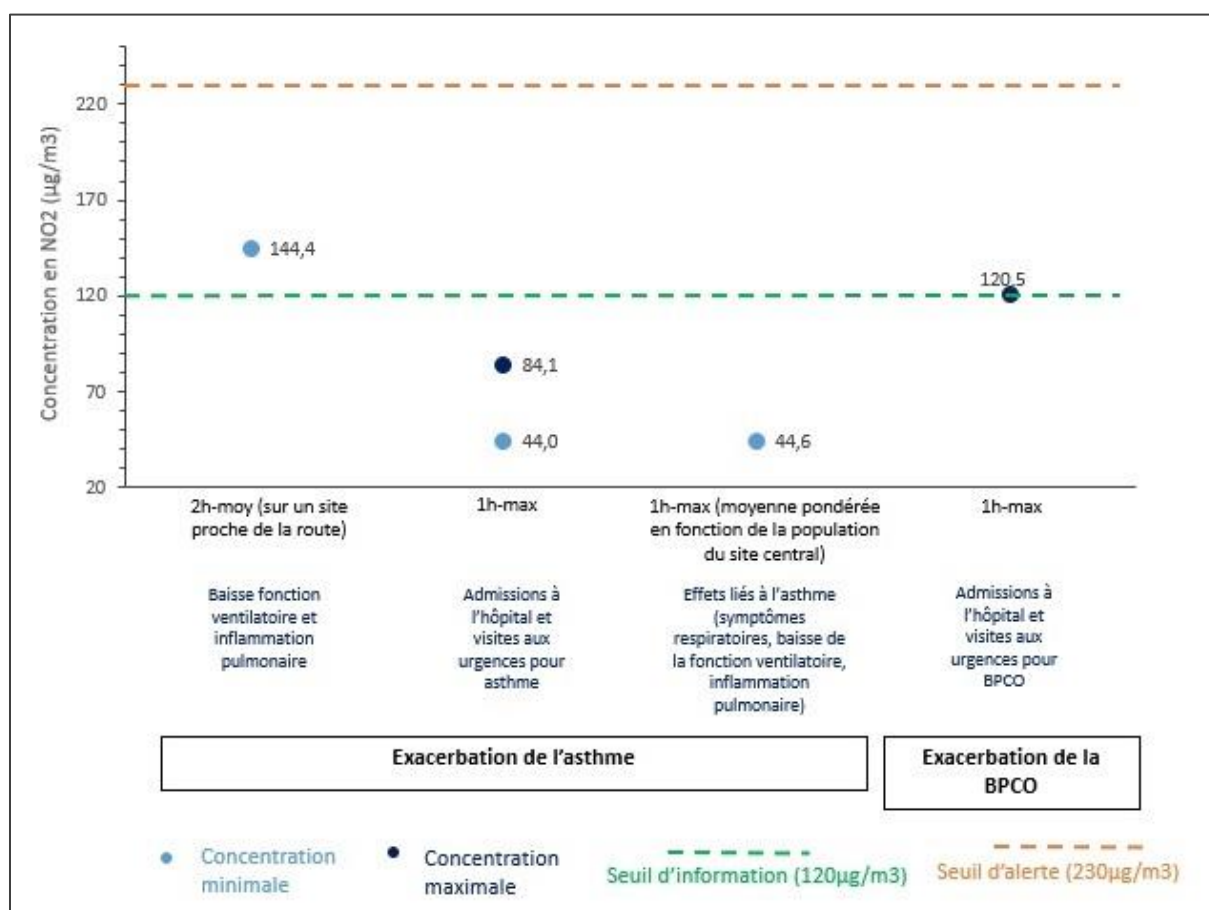


Figure 7 : Concentrations en NO₂ la plus faible et la plus forte sur une durée d'exposition d'1h maximum ou 2h en moyenne associées à des effets respiratoires dans les études épidémiologiques (données extraites de (EPA 2016)).

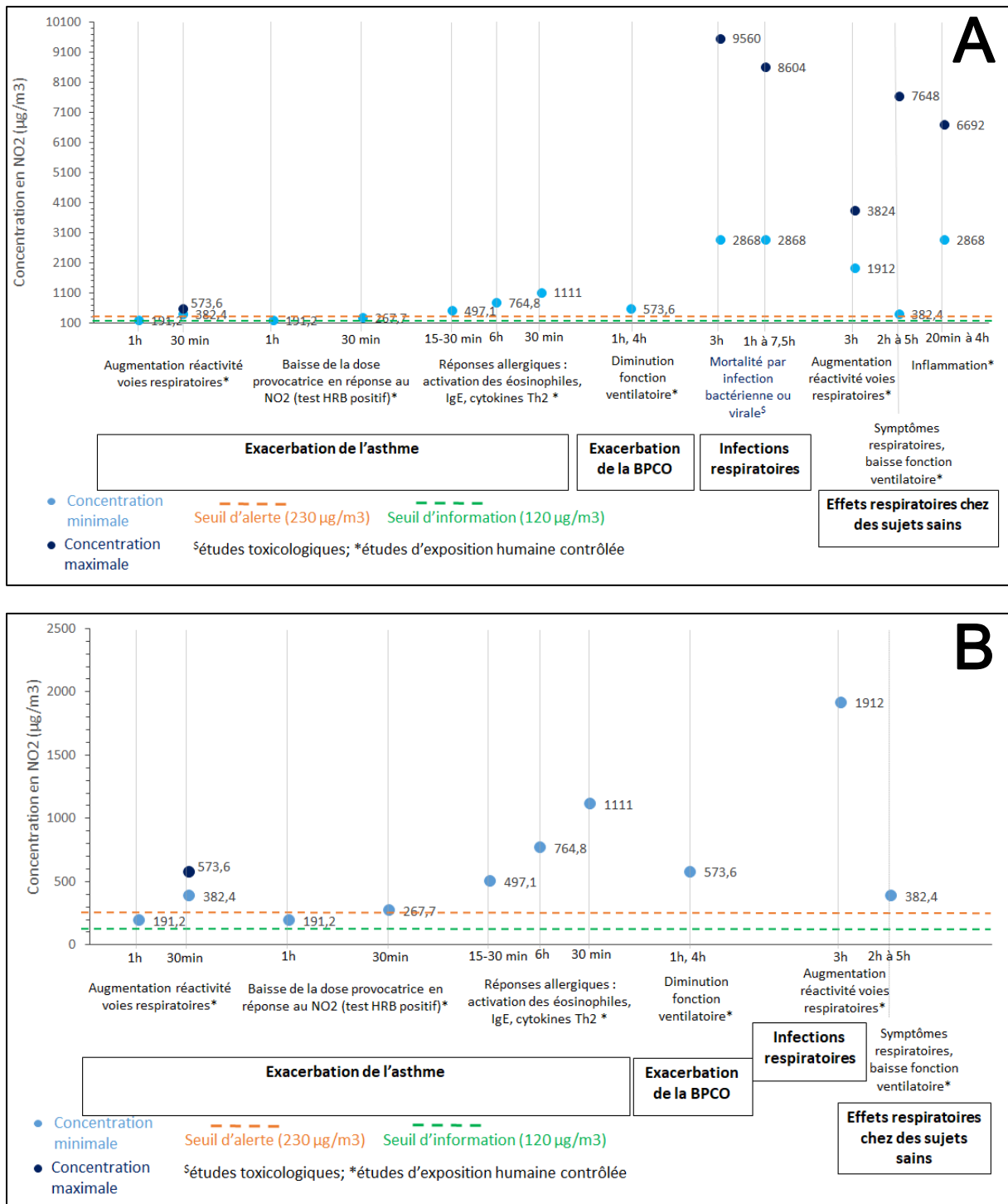


Figure 8 : Concentration en NO₂ la plus faible et la plus forte sur une durée d'exposition allant de 15 min à 7,5 h associée à des effets respiratoires dans les études toxicologiques et les études d'exposition humaine contrôlée. A : toutes les gammes de concentrations ; B : concentrations inférieures à 2000 µg/m³ (données extraites de (EPA 2016)).

3.3.5. Dioxyde de soufre (SO₂)

L'exposition à court terme au SO₂ est associée principalement à des **effets respiratoires** avec une relation classée par le rapport ISA comme **causale avérée** (EPA 2017). Concernant les exacerbations de l'asthme, des études épidémiologiques ont montré une association entre l'exposition au SO₂ et une augmentation des admissions à l'hôpital et des visites aux urgences pour cause d'asthme, des symptômes respiratoires chez des enfants asthmatiques, et une augmentation de l'hyperréactivité bronchique chez des adultes asthmatiques ainsi qu'une prévalence élevée de l'atopie. Les concentrations moyennes journalières ou maximales horaires en SO₂ associées à ces effets allaient de 2,74 à 103,7 µg/m³. Des études d'exposition humaine contrôlée ont montré que l'exposition au SO₂ était associée à une baisse de la fonction ventilatoire et une augmentation des symptômes respiratoires chez des sujets asthmatiques faisant de l'exercice, à une diminution du volume expiratoire maximal par seconde (VEMS), et à une augmentation des éosinophiles chez des adultes asthmatiques. Les concentrations associées à ces effets allaient de 532 à 5320 µg/m³ sur des pas de temps très courts de 5 à 10 min d'exposition. Des études épidémiologiques multicentriques ont également montré une association entre l'exposition au SO₂ et une augmentation de la mortalité respiratoire avec des concentrations moyennes journalières allant de 1,06 à 532 µg/m³.

Le Tableau 4 en Annexe 5 décrit plus en détail les concentrations la plus faible et la plus forte en SO₂ associées à chaque effet sanitaire. Les concentrations les plus faibles et les plus fortes en SO₂ associées à des effets sanitaires, pour un pas de temps équivalent ou proche de celui des seuils proposés, sont présentées dans la Figure 9 pour les études épidémiologiques et dans la Figure 10 pour les études d'exposition humaine contrôlée.

Les seuils d'information et d'alerte nouvellement proposés pour le SO₂ sont respectivement des concentrations maximales horaires journalières de 350 µg/m³ et 500 µg/m³. Dans les études épidémiologiques, les concentrations recensées y sont toutes inférieures. Ceci inclut des études sur des concentrations maximales horaires (26 µg/m³) associées à une augmentation des admissions à l'hôpital et des visites aux urgences liées à l'asthme (tout âge) (Figure 9 et Tableau 4 en Annexe 5). Les concentrations en SO₂ associées à des effets sanitaires dans les études d'exposition humaine contrôlée sont toutes supérieures à ces seuils (Figure 10 et Tableau 4 en Annexe 5). Cependant, ces mises en perspective ne doivent pas être sur-interprétées pour les mêmes raisons que celles citées précédemment pour les autres polluants.

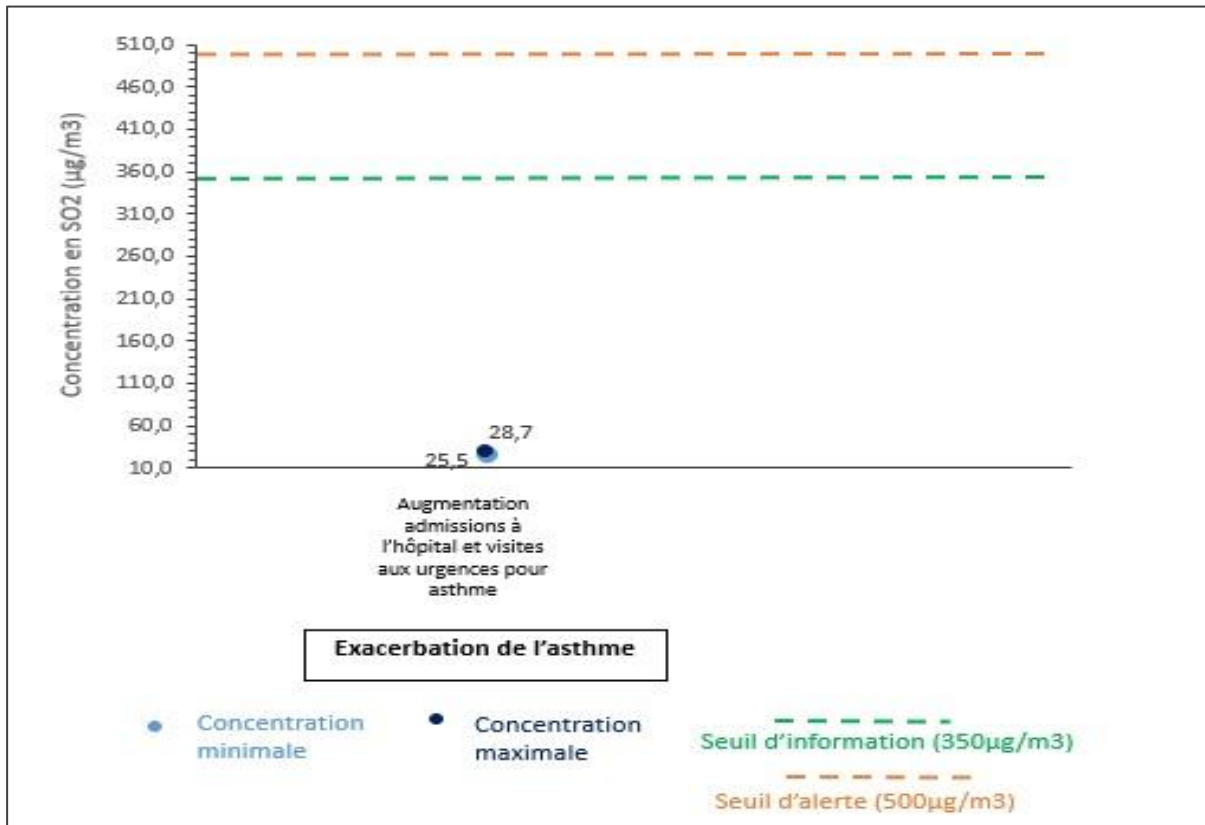


Figure 9 : Concentration en SO₂ la plus faible et la plus forte sur une durée d'exposition d'une heure maximum associée à des exacerbations de l'asthme dans les études épidémiologiques (données extraites de (EPA 2017)).

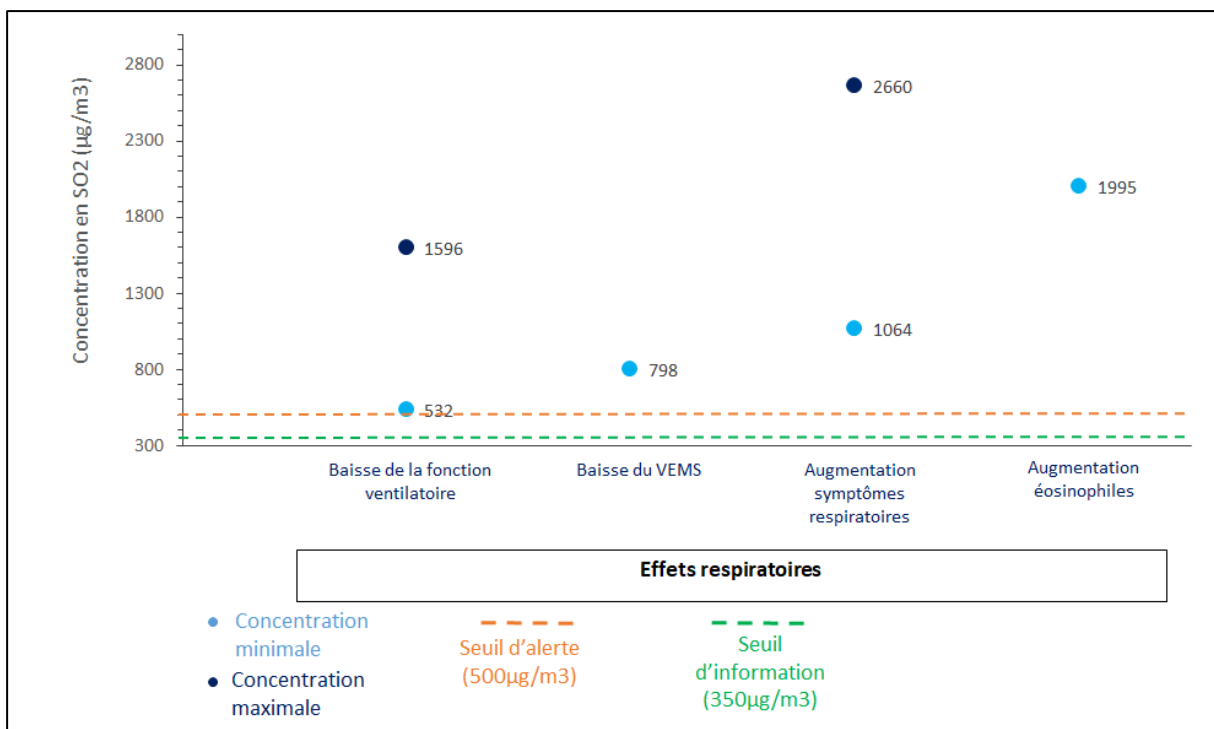


Figure 10 : Concentration en SO₂ la plus faible et la plus forte sur une durée d'exposition allant de 5 à 10 min associée à des effets respiratoires dans les études d'exposition humaine contrôlée (données extraites de (EPA 2017)).

3.3.6. 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 dans la littérature, en particulier 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. Pour les différents polluants, ces associations sont souvent observées pour des concentrations inférieures aux nouveaux seuils d'information et d'alerte proposés. 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 des excès de risque relatif (ERR)¹⁰ intégrant les seuils d'information et d'alerte et la concentration moyenne des polluants est une approche permettant de pallier cette limite dans les études. Des ERR de mortalité et d'hospitalisations pour maladies cardiovasculaires et respiratoires ont ainsi été estimés entre +0,59% et +4,09% selon l'évènement de santé considéré, pour une exposition à une concentration équivalente au seuil d'information proposé par rapport à la concentration moyenne en PM_{2,5}. Pour une concentration équivalente au seuil d'alerte, ils atteignent +2,11% à +15,92% selon l'évènement de santé considéré. Des ERR ont également été estimés pour les PM₁₀ et sont similairement élevés. Ces estimations se basent sur les RR et concentrations issus d'études réalisées sur neuf villes françaises sur la période de 2000 à 2006 pour la mortalité et sur huit villes françaises sur la période de 1998-2003 pour les hospitalisations (données collectées du rapport du Programme de surveillance air et santé (PSAS) 2008 et 2006).

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 PM_{2,5} inférieure aux seuils en conditions expérimentales. De même, pour des concentrations en ozone et NO₂ inférieures aux seuils, une baisse de la fonction ventilatoire, une hyperréactivité, une inflammation ou des symptômes respiratoires ont été observés. Cependant, cette mise en perspective ne doit pas être sur-interprétée. 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 très 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'homme.

¹⁰ L'excès de risque relatif (ERR) est une mesure du changement du risque relatif de maladie ou de décès (le plus souvent, par unité de dose reçue) pour un groupe d'individus qui sont exposés à un niveau connu, par rapport à ceux qui ne sont pas exposés (ERR=RR-1) ou encore pour deux groupes d'individus de niveaux d'exposition différents (ERR₂₁=RR₂-RR₁ pour des niveaux d'exposition 1 et 2) (source : <http://ipubli-inserm.inist.fr/bitstream/handle/10608/102/?sequence=80>).

$ERR = RR - 1 = e^{(\Delta * (\ln(RR) / x))} - 1$ où Δ : différentiel entre seuil d'information ou d'alerte et concentration moyenne en polluant ; RR : risque relatif observé ; x : incrément ou IQR (intervalle interquartile) en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.4. Quantification des bénéfices sanitaires attendus du respect des seuils d'information/recommandation et des seuils d'alerte proposés

3.4.1. Objectif

L'axe 4 a pour objectif général de quantifier la modification du risque induite par la modification des seuils d'information/recommandation et d'alerte (cf chapitre 1.2). Dans ce cadre, une évaluation quantitative de l'impact sanitaire (EQIS) a été réalisée sur l'impact à court terme de l'exposition aux PM_{2,5} dans l'air ambiant sur les passages aux urgences pour cause d'asthme chez les personnes de moins de 18 ans en France.

Les EQIS permettent de quantifier l'impact sanitaire de politiques publiques, de programmes ou de projets (OMS 2021a, SpFrance 2019b). Ces travaux viennent ainsi compléter les approches des axes 2 et 3 réalisés aux chapitres 3.2 et 3.3 précédant, afin de formuler un avis circonstancié sur les seuils proposés d'information/recommandation et d'alerte.

L'exercice n'a pas été conduit pour les polluants autres que PM_{2,5} pour les raisons suivantes :

- Concernant le NO₂ et l'O₃ :
 - il n'a pas été possible pour l'Anses, dans le délai imparti, d'avoir accès aux indicateurs sanitaires nécessaires pour évaluer les impacts de ces polluants ;
 - il n'y a pas de concordance entre les pas de temps des seuils d'information/recommandation et d'alerte et ceux associés aux RR issus d'études épidémiologiques. Réaliser une telle analyse nécessiterait des développements méthodologiques pour en évaluer la faisabilité (ex : corrélations entre concentrations recueillies sur différents pas de temps, dynamique journalière d'évolution des concentrations, etc) ;
 - la pertinence de réaliser l'exercice sur le NO₂ est discutable : le NO₂ est souvent corrélé aux PM_{2,5}, ce qui rend complexe la différenciation de leurs impacts sur la santé.
- Concernant les PM₁₀, il n'est pas proposé de modification du seuil d'information/recommandation ;
- Concernant le SO₂, aucun RR ne fait consensus dans la littérature épidémiologique sur les effets à court terme pour la réalisation d'EQIS.

Pour les PM_{2,5}, il n'existe actuellement pas de seuils d'information/recommandation et d'alerte. L'EQIS conduite consiste donc à évaluer, pour une période passée, les bénéfices qui auraient été induits par le respect des seuils d'information/recommandation et d'alerte proposés. Cela revient, pour la période retenue, à évaluer d'une part l'impact sanitaire avec les valeurs mesurées, et à évaluer d'autre part l'impact sanitaire en remplaçant, sur cette même période, les valeurs qui dépassaient les seuils proposés, par ces mêmes seuils. Le différentiel obtenu entre ces deux évaluations correspond au bénéfice sanitaire lié au respect des seuils. L'exercice est conduit avec les concentrations mesurées aux stations. Il porte sur les passages aux urgences pour asthme chez les moins de 18 ans qui apparaissent comme l'indicateur le plus sensible (RR le plus élevé pour un incrément de 10 µg/m³ de PM_{2,5}) parmi les indicateurs de santé recommandés (SpFrance 2019b).

3.4.2.Méthode

Ce chapitre résume les éléments de méthode détaillés en Annexe 6.

- Zones, période et population d'étude

Les zones d'études sont les unités urbaines disposant de stations de fond (péri)urbain mesurant les PM_{2,5} et localisées dans les « zones à risques - agglomération » (ZAG) et les « zone à risques – hors agglomération » (ZAR) du territoire national. La population d'étude porte sur la population âgée de moins de 18 ans domiciliée au sein de ces zones d'étude. La période d'étude porte sur 2016-2018, à savoir les trois années consécutives les plus récentes pour lesquelles il y avait peu de données manquantes sur les concentrations PM_{2,5}.

- Bases de données métrologiques, sanitaires et démographiques utilisées

Les bases de données utilisées sont :

- la base DiscoMap (AEE 2019a) pour l'extraction des concentrations horaires PM_{2,5} mesurées sur les stations de fond (péri)urbain,
- la base de géodonnées Géodes (SpFrance 2020) pour l'extraction des taux hebdomadaires de passage aux services d'urgence pour asthme chez les moins de 15 ans,
- la plateforme S.A.E. Diffusion (DREES 2020) pour l'extraction des nombres annuels de passages aux urgences chez les moins de 18 ans,
- et les données du recensement de la population en France (INSEE 2017) pour l'extraction des nombres d'habitants âgés de moins de 18 ans.

- Concentrations en PM_{2,5} et dépassements des seuils d'information/recommandation et d'alerte

Des séries temporelles de concentrations moyennes journalières en PM_{2,5} sur 2016-2018 sont construites pour chaque unité urbaine à partir des données horaires citées ci-dessus. Les jours de dépassement des seuils d'information/recommandation (25 µg/m³) et des seuils d'alerte (50 µg/m³) sont ensuite identifiés (station et date). La concentration journalière mesurée ces jours-là est ensuite remplacée par la valeur des seuils d'information/recommandation et d'alerte pour le calcul des bénéfices sanitaires¹¹.

¹¹ A noter que cette méthode d'identification et de dénombrement des dépassements ne répond pas à la définition réglementaire d'un dépassement (Légifrance 2016a, 2016b) qui peut également être basée sur des critères de population, de superficie et si possible sur de la modélisation. Ces textes prévoient toutefois que « *en l'absence de modélisation de la qualité de l'air, un épisode de pollution peut être caractérisé par constat d'une mesure de dépassement d'un seuil sur au moins une station de fond* ». Dans l'objectif d'estimer quantitativement l'impact sanitaire du maintien des concentrations PM_{2,5} à niveau inférieur aux seuils, la mesure aux stations urbaines de fond comme proxy de l'exposition est cohérente avec la méthode de mesure de l'exposition utilisée dans les études épidémiologiques à l'origine du méta-RR utilisé (Andersen *et al.* 2008, Chatignoux E 2013, Halonen *et al.* 2008, Iskandar *et al.* 2012, Santus *et al.* 2012), contrairement à l'utilisation de données de concentrations qui seraient modélisées sur le territoire.

- Impact à court terme de l'exposition aux PM_{2,5} sur les passages aux urgences pour asthme chez les moins de 18 ans et bénéfices attendus du respect des seuils d'information/recommandation et d'alerte proposés

L'évaluation consiste tout d'abord à calculer l'impact sur les passages aux urgences pour asthme (âge < 18 ans) de la variation entre la concentration en PM_{2,5} mesurée et la concentration de référence choisie, soit le 5^{ème} percentile des concentrations mesurées sur la station et sur les années 2016, 2017 et 2018. Le choix du 5^{ème} percentile est retenu en l'absence de données permettant d'estimer la part de la pollution anthropique (liée à l'activité humaine) et en cohérence avec les autres travaux d'EQIS de la pollution de l'air ambiant (SpFrance 2018, 2021). Les équations de calcul utilisées sont décrites en Annexe 6. Ce calcul utilise une fonction concentration-risque (ou facteur de pente β) qui relie la concentration moyenne journalière PM_{2,5} au risque de passage aux urgences pour asthme (ICD-10: J45-J46) chez les enfants de 0-17 ans. Cette fonction est issue d'une méta-analyse de 4 études européennes (mono-ville) dont 1 française (RR = 1,098 [1,012-1,190] pour une augmentation de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{2,5}) et a été recommandée par Santé Publique France pour la réalisation d'EQIS (SpFrance 2019b).

Afin de calculer l'impact de la pollution PM_{2,5} sous l'hypothèse du respect des seuils, la même approche est utilisée, en remplaçant les concentrations journalières dépassant les seuils par la valeur du seuil. Les concentrations supérieures au seuil d'information/recommandation et inférieures au seuil d'alerte sont remplacées par la valeur du seuil d'information/recommandation proposé. Les concentrations supérieures au seuil d'alerte sont remplacées par la valeur du seuil d'alerte proposé.

Les bénéfices sanitaires sont finalement calculés par la différence entre les impacts calculés avec et sans remplacement des valeurs supérieures aux seuils. Il s'agit de bénéfices moyens annuels dans une situation théorique de maintien des concentrations moyennes journalières de PM_{2,5} à un niveau inférieur ou égal aux seuils proposés. L'intervalle de confiance associé représente le calcul du bénéfice sanitaire à partir des bornes inférieures et supérieures de l'intervalle de confiance à 95 % de β . Il s'agit donc d'une fraction de l'incertitude totale, les autres incertitudes, sur la mesure de l'exposition et sur les nombres de passages aux urgences notamment, n'étant pas quantifiées.

Ces bénéfices sont calculés :

- sur les jours de dépassements des seuils uniquement, afin de quantifier les bénéfices durant ces épisodes de pollution ;
- sur la période entière 2016-2018, afin de quantifier les bénéfices moyens sur une année entière incluant les périodes avec et sans épisodes de pollution.

Des analyses de sensibilité des bénéfices estimés sont réalisées sur deux points particuliers à partir des données, toutes sur l'unité urbaine de Paris¹² : le choix de la période d'étude et le

¹² L'unité urbaine de Paris a été retenue pour les analyses de sensibilité car :

- le calendrier de travail ne permettait pas de réaliser ces analyses sur l'ensemble des 44 unités urbaines,
- cette unité urbaine présente de loin le plus lourd fardeau et bénéfice sanitaire attendu en nombre de cas,
- compte tenu de ce lourd fardeau/bénéfice, cette unité urbaine présente des bénéfices moyens proches de ceux calculés à l'échelle des 44 unités urbaines.

choix du nombre de jours d'exposition précédant les passages aux urgences pour asthme, dont l'impact sur les résultats pourraient être non négligeables.

En effet, compte tenu du choix de la période d'étude qui inclut l'hiver 2016-2017 avec des pics de pollution intenses, la première analyse de sensibilité des résultats est réalisée en excluant les années 2016 et 2017, et donc en ne conservant que l'année 2018.

La seconde analyse de sensibilité des résultats porte sur le choix du nombre de jours d'exposition précédant les passages aux urgences pour asthme, à savoir les 5 jours précédant et le jour-même (lag 0-5), ou le jour précédant et le jour-même (lag 0-1), en lien avec les différentes périodes incluses dans les études épidémiologiques à l'origine du méta-risque relatif utilisé (cf p.80).

3.4.3. Résultats

- Zones et population d'étude

Les zones d'étude comprennent 44 unités urbaines localisées dans les « zones à risques - agglomération » (ZAG) et les « zone à risques – hors agglomération » (ZAR) du territoire national (Tableau 4, Figure 11). Elles représentent 72 % du nombre d'unités urbaines disposant d'au moins une station de fond (péri)urbain $PM_{2,5}$ sur la période 2016-2018, et 42 % de celles disposant d'au moins une station de surveillance de la qualité de l'air. Au sein des départements et régions d'outre-mer (DROM), seule l'unité urbaine de Saint-Denis à la Réunion a été incluse, les données $PM_{2,5}$ n'étant pas disponibles ou manquantes (taux > 20 % sur 2016, 2017 et 2018) sur les autres unités urbaines.

La population d'étude comprend 6 114 320 personnes domiciliées sur les 44 unités urbaines, soit 93 % de la population résidant sur les unités urbaines disposant d'au moins une station de fond (péri)urbain mesurant les $PM_{2,5}$, et 87 % de la population résidant sur les unités urbaines disposant d'au moins une station de surveillance de la qualité de l'air.

Les unités urbaines incluses et exclues sont listées en Annexe 7.

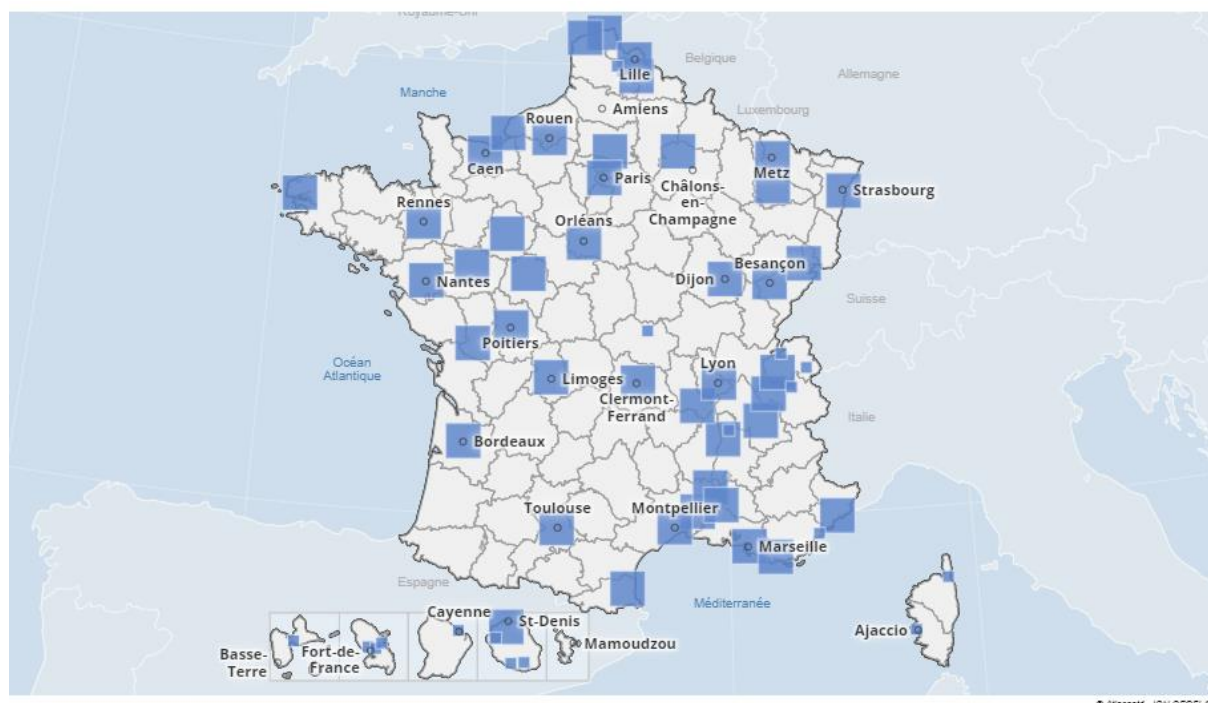
Tableau 4 : Population d'étude

| | Unités urbaines localisées dans les ZAG* ou ZAR* en France | | |
|---|---|--|---|
| | Avec au moins une station de surveillance de la qualité de l'air n_1 | Avec au moins une station de surveillance de la qualité de l'air + incluant au moins une station de fond (péri)urbain $PM_{2,5}$ n_2 (% de n_1) | Avec au moins une station de surveillance de la qualité de l'air + incluant au moins une station de fond (péri)urbain $PM_{2,5}$ + données $PM_{2,5}$ disponibles et %DM _{2016, 2017 ou 2018} ≤ 20%** = population d'étude n_3 (% de n_2 ; % de n_1) |
| Nombre de stations de mesure $PM_{2,5}$ | s.o. | 76 | 52 (68%) |
| Nombre d'unités urbaines | 104 | 61 (59%) | 44 (72% ; 42%) |
| Population < 18 ans | 7 037 765 | 6 602 525 (94%) | 6 114 320 (93% ; 87%) |

s.o. : sans objet

* ZAG : zones à risques – agglomération / ZAG : zone à risques – hors agglomération »

** %DM_{2016, 2017 ou 2018} ≤ 20%: pourcentage de données manquantes en concentration $PM_{2,5}$ inférieur ou égal à 20 % sur l'année 2016, 2017 ou 2018



Grand carrés bleus = zones d'étude = unités urbaines localisées sur les ZAG et ZAR avec au moins une station de fond (péri)urbain $PM_{2,5}$, avec données $PM_{2,5}$ disponibles et données manquantes ≤ 20 % sur 2016, 2017 ou 2018

Petits carrés bleus = unités urbaines localisées sur les ZAG et ZAR avec au moins une station de fond (péri)urbain $PM_{2,5}$ avec données $PM_{2,5}$ non disponibles ou données manquantes > 20 % sur 2016, 2017 et 2018

Figure 11 : Zones d'étude.

- Concentrations en PM_{2,5} et dépassements des seuils d'information/recommandation et d'alerte

Parmi les 44 unités urbaines incluses, en moyenne et sur la période 2016-2018, les concentrations journalières en PM_{2,5} mesurées sur les stations de fond (péri)urbain sont les plus élevées à Lille (15,8 µg/m³), Strasbourg (14,9 µg/m³) et Paris (14,4 µg/m³).

Sur 2016-2018, les unités urbaines où les stations de fond (péri)urbain présentent le plus grand taux de dépassement du seuil d'information/recommandation proposé sont : Lille 15 % (n=164 jours), Douai 13 % (n=140), Dunkerque 11 % (n=118), Paris 10 % (n=114), Strasbourg 10 % (n=110) et Grenoble 10 % (n=106).

Les unités urbaines où les stations de fond (péri)urbain présentent le plus grand taux de dépassement du seuil d'alerte proposé sont : Lyon (1,4 %, n=15), Strasbourg (1,4 %, n=15), Paris (1,1 %, n=12), Lille (0,9 %, n=10) et Douai (0,9 %, n=10).

Remarque : Les unités urbaines de Guadeloupe, Martinique et Guyane exposées à des fortes concentrations de particules durant les épisodes de brumes des sables n'ont pas pu être incluses.

- Impact à court terme de l'exposition aux PM_{2,5} sur l'exacerbation de l'asthme chez les moins de 18 ans et bénéfices attendus du respect des seuils d'information/recommandation et d'alerte proposés (période 2016-2018)

1 495 passages par an aux urgences pour asthme chez les personnes âgées de moins de 18 ans sont attribuables à l'exposition à court terme aux PM_{2,5} sur les 44 unités urbaines, dont 347 lors des jours de dépassement des seuils proposés. Paris représente de loin la plus grande part de ce nombre (37 %) suivi de Lyon (6%), Lille (6%) et Marseille-Aix-en-Provence (5%). Ce résultat peut s'expliquer par les niveaux de pollution et les effectifs de population exposée relativement importants dans ces grandes agglomérations.

Sur 100 000 habitants, 24 passages par an aux urgences pour asthme (< 18 ans) sont attribuables à l'exposition à court terme aux PM_{2,5}, en moyenne, sur les 44 unités urbaines, dont 6 lors des jours de dépassement des seuils proposés. Le risque moyen par habitant est le plus élevé dans les unités urbaines de Valence (62 sur 100 000 habitants), Le Havre (58 sur 100 000 habitants), Rouen (49 sur 100 000 habitants), Annecy (48 sur 100 000 habitants) et Chambéry (44 sur 100 000 habitants). Ce résultat peut s'expliquer par les niveaux de pollution plus importants en lien avec la combustion de biomasse, le trafic routier et l'activité industrielle dans ces unités urbaines, associés au relief montagneux et à des conditions météorologiques fréquemment stables (inversions de température) favorisant l'accumulation des PM_{2,5} pour ce qui concerne les unités urbaines du sillon alpin (Annecy, Chambéry et Valence) (Atmo-Auvergne-Rhône-alpes 2019a, 2019b, 2019c, Atmo-Normandie 2017).

En terme de bénéfice attendu, le respect des seuils d'information/recommandation et d'alerte proposé permettrait de réduire de 19 % le nombre annuel de passages aux urgences pour asthme (< 18 ans) attribuables à l'exposition à court terme aux PM_{2,5} lors des épisodes de pollution PM_{2,5} dans les 44 unités urbaines. Ce bénéfice en pourcentage est relativement homogène sur le territoire avec 37 des 44 unités urbaines où la réduction du nombre de passages aux urgences se situe entre 15 % et 24 % (Figure 12A). A noter que la réduction de 44 % obtenue sur Saint-Denis de la Réunion porte sur 1 jour en dépassement uniquement.

En considérant les effets à court terme de l'exposition aux $PM_{2,5}$ sur une année entière, et non uniquement lors des épisodes de pollution, le bénéfice apporté par le respect des seuils s'en retrouve dilué avec une réduction de 9 % du nombre de passages aux urgences dans les 44 unités urbaines. Ce bénéfice en pourcentage est le plus élevé sur Lille (-14 %), Dunkerque (-12 %), Grenoble (-12 %) et Douai-Lens (-12 %) (Figure 12B). Il est de 9 % dans l'unité urbaine de Paris et de 10 % dans celles de Lyon et Bordeaux. Le bénéfice est le plus faible sur Saint-Denis (-1 %), Nice (-1 %), Perpignan (-2 %), Brest (-2 %) et Limoges (-3 %). Ces résultats confirment l'intérêt de santé publique de réduire également l'exposition en dehors des épisodes de pollution.

Les résultats issus des analyses de sensibilité réalisées sur l'unité urbaine de Paris sont présentés en Annexe 9. La première analyse excluant les années 2016 et 2017 pour s'affranchir de l'hiver 2016-2017 (hiver au cours duquel des pics de particules particulièrement intenses ont été observés), montre une diminution de l'estimation du nombre annuel de passages aux urgences pour asthme attribuable aux effets à court terme de la pollution $PM_{2,5}$, et une légère diminution du bénéfice apporté par le respect des seuils.

La seconde analyse porte sur le choix du nombre de jours d'exposition précédant les passages aux urgences pour asthme, à savoir 5 jours précédant et le jour-même (lag 0-5), ou le jour précédant et le jour-même (lag 0-1). Cette analyse montre une légère augmentation de l'estimation du nombre annuel de passages aux urgences pour asthme attribuable aux effets à court terme de la pollution $PM_{2,5}$ pour le lag 0-1 comparativement au lag 0-5 et pas de différence majeure sur le bénéfice apporté par le respect des seuils.

Enfin, une caractérisation qualitative des principales sources d'incertitudes relatives à l'évaluation réalisée est présentée en Annexe 10. La majorité des incertitudes résiduelles identifiées tendent vers une sous-estimation des impacts et bénéfices estimés.

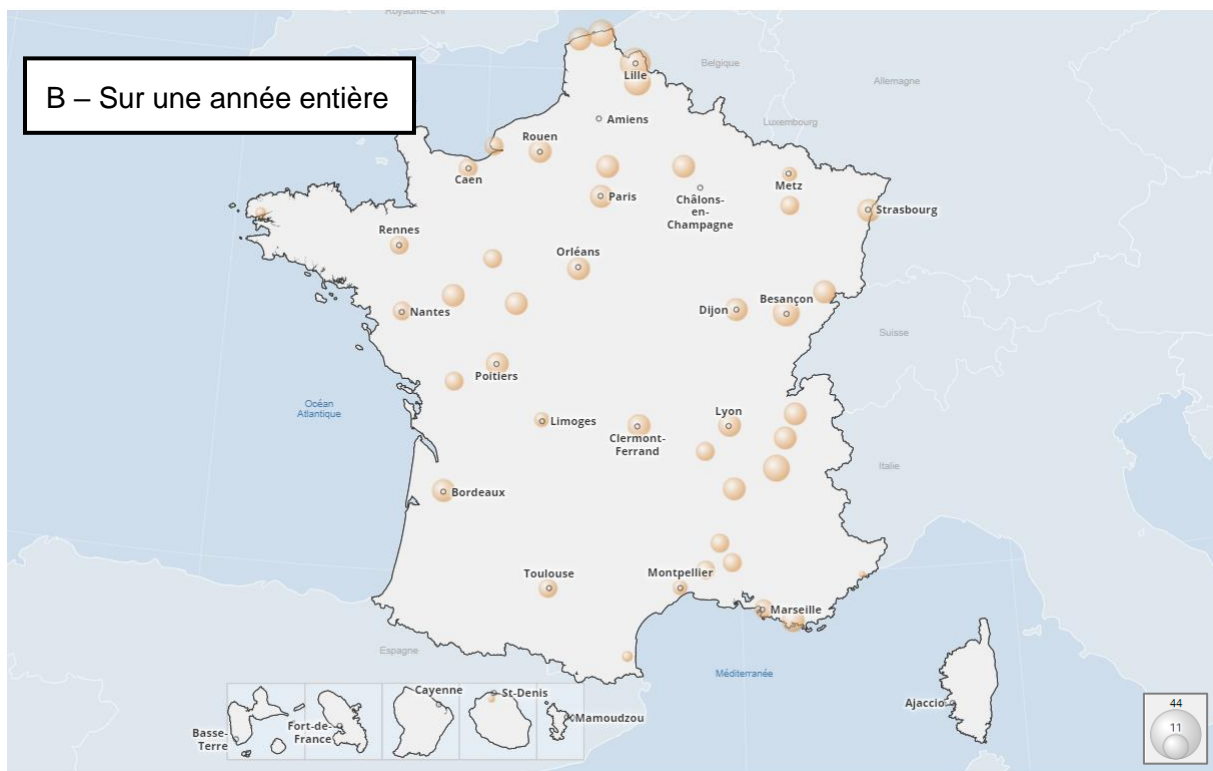
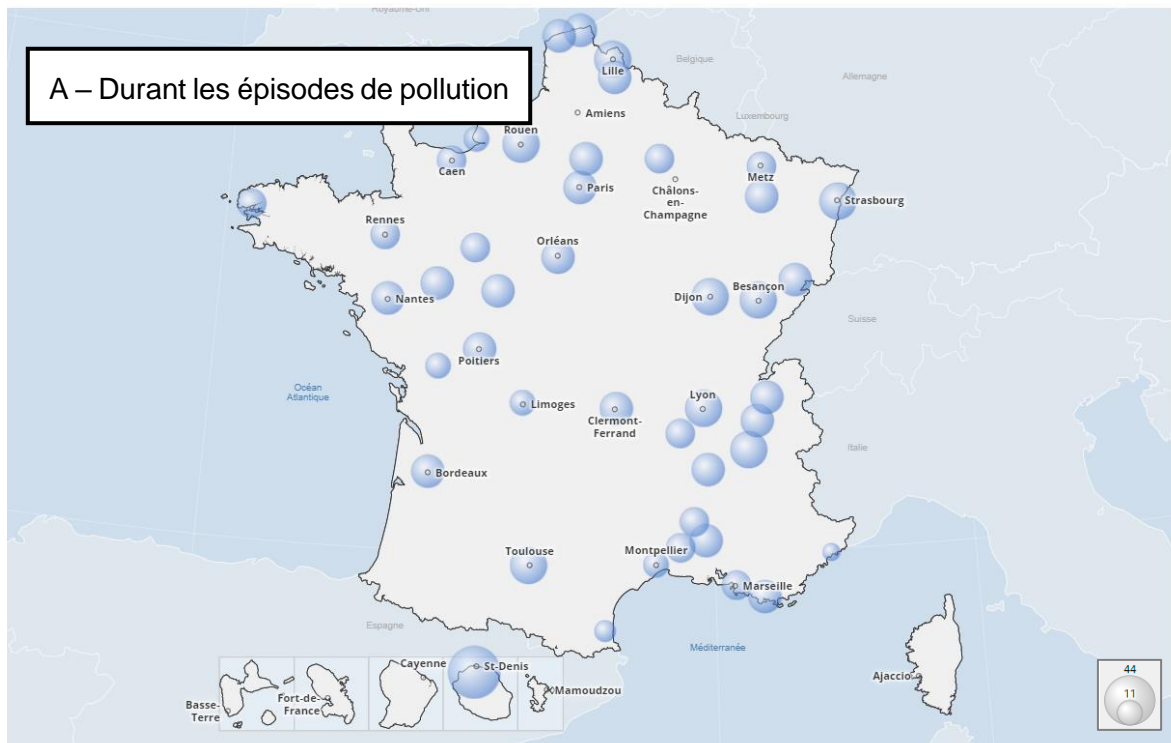


Figure 12A : Bénéfices sanitaires moyens annuels sur les jours de dépassement de la période 2016-2018

Figure 12B : Bénéfices sanitaires moyens annuels sur la période entière 2016-2018

Note : Les pourcentages de réduction du nombre annuel de passages aux urgences pour asthme (enfants < 18 ans) attribuable aux effets à court terme des PM_{2,5}, représentées sur la figure, sont disponibles en Annexe 8.

Figure 12 : Réduction (en %) du nombre annuel de passages aux urgences pour asthme (enfants < 18 ans) attribuable aux effets à court terme des PM_{2,5}, apporté par le respect des seuils proposés d'information/recommandation et d'alerte (44 unités urbaines incluses)

3.4.4. Conclusions

Au moins 1 500 passages par an aux urgences pour asthme chez les personnes âgées de moins de 18 ans sont attribuables à l'exposition à court terme aux PM_{2,5} dont environ 350 lors des jours de dépassement des seuils proposés. Ces estimations portent sur les 44 unités urbaines étudiées représentant près de 90 % de la population résidant dans les zones les plus à risque de dépassement des seuils.

Le respect des seuils d'information/recommandation et d'alerte proposés permettrait de réduire d'environ 15 à 24 % le nombre annuel de passages aux urgences pour asthme (chez les personnes âgées de moins de 18 ans) attribuables à l'exposition à court terme aux PM_{2,5}, lors des épisodes de pollution PM_{2,5}. Ces résultats pourraient être surestimés du fait de l'inclusion de l'hiver 2016-2017 (avec des pics de pollution particulièrement intenses) dans la période d'étude. En considérant le bénéfice sur une année entière, et non uniquement lors des épisodes de pollution, le bénéfice apporté par le respect des seuils s'en retrouve dilué (réduction d'environ 7 % à 9 %). Ces résultats sont robustes aux analyses de sensibilité. Les incertitudes résiduelles identifiées tendent vers une sous-estimation des impacts et bénéfices estimés.

Ces résultats confirment l'intérêt de santé publique de réduire également l'exposition en dehors des épisodes de pollution, qui représente chaque année au moins 1 150 passages aux urgences pour asthme chez les personnes âgées de moins de 18 ans.

3.5. Conclusions et recommandations du CES

Le CES rappelle que les seuils réglementaires relatifs au dispositif de déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant sont définis par l'article R221-1 du Code de l'Environnement :

- 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* ».

1) Concernant la méthode de construction des bornes de l'indice européen European Air Quality Index à l'origine des valeurs proposées pour les nouveaux seuils d'information/recommandation et d'alerte, le CES indique que :

- 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 niveaux de qualité de l'air qui représentent un risque de décès prématuré équivalent quel que soit le polluant considéré -à l'exception du SO₂ pour lequel l'OMS ne recommande pas de RR et dont

les bornes reflètent les normes réglementaires fixées sous la Directive européenne de la qualité de l'air ;

- l'approche est fondée sur l'observation épidémiologique d'une relation log-linéaire entre concentration et risque de décès toutes causes sur l'ensemble de la gamme des concentrations. Cette relation entre concentration et risque de décès toutes causes est bien observée pour les PM_{2,5}, PM₁₀ et dans une moindre mesure pour NO₂ mais pas pour l'O₃, ce qui confère une incertitude supplémentaire aux bornes de l'indice pour l'O₃ ;
- la borne d'indice « modéré/mauvais » du NO₂ de 120 µg/m³ en concentration horaire n'est pas expliquée par le calcul (110 µg/m³) ;
- les bornes des polluants de l'indice européen élaboré par l'AEE et repris dans la réglementation française en tant qu'indice ATMO pourront utilement être révisées afin :
 - o de tenir compte de la révision à venir des valeurs guide de l'OMS pour les PM_{2,5}, compte tenu du fait que les bornes calculées pour les PM₁₀, le NO₂ et l'O₃ sont dérivées de celles-ci ;
 - o de tenir compte de risques relatifs plus récents¹³ que ceux recommandés dans le cadre du projet HRAPIE publié en 2013.

2) Concernant la mise en perspective des nouveaux seuils d'information/recommandation et d'alerte avec les données de la littérature épidémiologique et toxicologique (voir synthèse en Tableau 5), le CES observe que :

- les seuils proposés sont le plus souvent supérieurs aux concentrations en polluants associées à des effets sanitaires à court terme dans les études épidémiologiques (sur des pas de temps égaux ou proches de ceux pour lesquels de nouveaux seuils sont proposés), 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,
- les seuils proposés pour l'information et l'alerte pour les PM_{2,5} correspondent, selon les études observationnelles épidémiologiques, à des excès de risque relatif (par rapport à la concentration moyenne) de mortalité et d'hospitalisations pour maladies cardiovasculaires et respiratoires entre +0,6% et +4% et entre +2% et +16%¹⁴, respectivement.

¹³ De nombreux travaux épidémiologiques ont été publiés depuis 2013, incluant notamment les méta-analyses de Orellano *et al.* (2020), Liu *et al.* (2019) et de Meng *et al.* (2021). Il est à noter également, par exemple, qu'au niveau français, SPF recommande notamment pour ces polluants de nouveaux RR court-terme dans son guide pour la réalisation d'une évaluation quantitative des impacts sur la santé (EQIS) publié en 2019 (SpFrance 2019b).

¹⁴ Ces estimations se basent sur les RR et concentrations issus d'études réalisées sur neuf villes françaises sur la période de 2000 à 2006 pour la mortalité et sur huit villes françaises sur la période de 1998-2003 pour les hospitalisations (données collectées du rapport du Programme de surveillance air et santé (PSAS) 2008 et 2006).

- 3) Concernant les bénéfices sanitaires attendus et liés à l'introduction et au respect de nouveaux seuils d'information/recommandation et d'alerte, sur la base d'une évaluation relative aux $PM_{2,5}$ ¹⁵, le CES souligne que :
- le respect des seuils permettrait de diminuer d'environ 15 à 24 % le nombre annuel de passages aux urgences pour asthme chez les moins de 18 ans, attribuable aux effets à court terme des $PM_{2,5}$, sur les journées dépassant ces seuils ;
 - en moyenne sur une année, 78 % des cas sont dus aux expositions à des concentrations inférieures aux seuils proposés, illustrant l'intérêt de santé publique de réduire également l'exposition en dehors des épisodes de pollution ;
 - ces résultats mettent en évidence un bénéfice sanitaire du respect des seuils durant les épisodes de pollution. Toutefois, ce dispositif ne constitue pas une solution suffisante pour réduire drastiquement les effets à court terme de la pollution de l'air.

Au vu des éléments présentés ci-dessus, le CES conclut que :

- l'introduction de seuils d'information/recommandation et d'alerte pour les $PM_{2,5}$ d'une part, et une révision à la baisse des seuils pour le NO_2 et l' O_3 d'autre part, s'ils sont respectés, permettront de réduire les effets de l'exposition à court terme aux épisodes de pollution de l'air ambiant sur la santé de la population. Le CES y est donc favorable ;
- à l'inverse, concernant les PM_{10} , la proposition d'augmenter la valeur du seuil d'alerte pourrait augmenter les effets de l'exposition à court terme aux épisodes de pollution de l'air ambiant. Le CES y est donc défavorable ;
- concernant le SO_2 , le CES n'est pas favorable à l'augmentation du seuil d'information/recommandation proposée.

Enfin le CES recommande :

- de considérer des seuils d'information/recommandation et d'alerte plus bas, en cohérence avec les connaissances épidémiologiques les plus actuelles ;
- de considérer les futures valeurs guides court terme de l'OMS pour la fixation de seuils d'information/recommandation et d'alerte ;
- de privilégier l'établissement de seuils d'information/recommandation et d'alerte sur des pas de temps cohérents avec les données épidémiologiques, tout en considérant l'opérationnalité du dispositif d'information/recommandation et d'alerte ;
- de fonder prioritairement la politique de lutte contre la pollution de l'air sur les niveaux d'exposition chroniques.

¹⁵ Evaluation quantitative des bénéfices sanitaires se basant sur les concentrations en $PM_{2,5}$ mesurées aux stations de fond dans 44 unités urbaines représentant près de 90 % de la population résidant dans les zones les plus à risque de dépassement des seuils.

Tableau 5 : Tableau récapitulatif sur les concentrations associées à des effets sanitaires, identifiées à partir des synthèses récentes de la littérature scientifique

| Polluants | Seuils d'information / d'alerte | Données de la littérature | |
|-----------|---|--|---|
| | | Etudes épidémiologiques | Eudes d'EHC et toxicologiques |
| PM2.5 | 25 µg.m ⁻³ / 50 µg.m ⁻³ | Concentrations observées associées aux effets cardiovasculaires, respiratoires et mortalité totale inférieures aux seuils | Concentrations observées supérieures aux seuils excepté pour dysfonction endothéliale et pression artérielle (24 µg.m ⁻³) |
| PM10 | 50 µg.m ⁻³ / 100 µg.m ⁻³ | Concentrations observées associées aux effets cardiovasculaires, respiratoires et mortalité totale inférieures aux seuils | Pas de données |
| O3 | 130 µg.m ⁻³ / 240 µg.m ⁻³ | Concentrations observées associées aux effets cardiovasculaires, respiratoires et mortalité totale inférieures aux seuils excepté pour une baisse de la fonction ventilatoire (246 µg/m ³). Orellano et al. 2020 : relation non linéaire entre concentration en O3 et mortalité à court terme avec seuils entre 60-100 µg/m ³ | Concentrations observées supérieures aux seuils excepté pour : diminution de la fonction ventilatoire (120 µg/m ³) augmentation des symptômes respiratoires (140 µg/m ³), augmentation de la réactivité des voies respiratoires (160 µg/m ³), altération des paramètres ventilatoires (200 µg/m ³), sensibilité accrue aux maladies infectieuses (160 µg/m ³). |
| NO2 | 120 µg.m ⁻³ / 230 µg.m ⁻³ | Concentrations observées associées aux effets respiratoires inférieures aux seuils excepté pour baisse de la fonction ventilatoire et inflammation et symptômes respiratoires (144,4 µg/m ³). Orellano et al. 2020 : relation non linéaire entre concentration de NO2 (moyenne 24 heures) et mortalité à court terme avec un seuil à 37,6 µg/m ³ . | Concentrations observées toutes supérieures aux seuils. |
| SO2 | 350 µg.m ⁻³ / 500 µg.m ⁻³ | Concentrations observées associées aux effets respiratoires inférieures aux seuils | Concentrations observées toutes supérieures aux seuils. |

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail endosse les conclusions et recommandations du CES « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » présentées ci-dessus.

Ces conclusions et recommandations, relatives à la révision proposée des seuils d'information/recommandation et d'alerte prévus dans le dispositif réglementaire de surveillance de la qualité de l'air ambiant en cas d'épisodes de pollution de celui-ci, sont fondées sur différentes analyses complémentaires :

- analyse de la construction des bornes de l'indice *European Air Quality Index* de l'Agence Européenne de l'Environnement, à l'origine des seuils proposés ;
- analyse des concentrations associées à des effets sur la santé dans la littérature épidémiologique et toxicologique pour les différents polluants concernés par ces seuils (PM_{2,5}, PM₁₀, NO₂, O₃ et SO₂) ;
- et quantification des bénéfices sanitaires en France liés à l'introduction dans le dispositif de seuils d'information/recommandation et d'alerte pour les PM_{2,5}.

L'agence souligne que, pour pouvoir respecter le calendrier d'instruction arrêté avec les ministères commanditaires, ces travaux d'expertise ont été adoptés par le CES « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » lors de sa séance du 10 septembre 2021, et donc en amont de la publication, par l'OMS, de ses nouvelles valeurs guides de qualité de l'air ambiant (publication intervenue le 22 septembre 2021). Aussi, en complément des conclusions et recommandations ci-dessus, l'agence recommande, dans la mesure du possible, de réviser les seuils d'information/recommandation et d'alerte en tenant compte de ces récentes valeurs guides de l'OMS, présentées dans le Tableau 6 ci-dessous. 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 qu'elles s'inscrivent donc dans le sens d'une meilleure protection de la santé des populations.

L'agence souligne également que cette révision des valeurs guides de l'OMS, et la publication dans la littérature épidémiologique de risques relatifs plus récents que ceux recommandés en 2013 dans le cadre du projet HRAPIE, sont également de nature à motiver une révision de l'indice européen *European Air Quality Index* par l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE), et par conséquent de l'indice ATMO français. En effet, l'agence considère qu'il est important que ces indices qui servent à la fois de base à l'information et à l'action pour limiter les risques sanitaires intègrent l'évolution de l'état des connaissances scientifiques.

L'Anses indique que les conclusions et recommandations formulées dans le présent avis sont basées sur des considérants sanitaires, compte tenu du fait, en particulier, que le critère sanitaire est le seul pris en compte dans les définitions réglementaires des seuils d'information/recommandation et d'alerte inscrites à l'article R221-1 du code de l'environnement.

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

Tableau 6 : Valeurs guides de qualité de l'air recommandées par l'OMS, en 2021 *versus* 2005, pour des expositions court terme (en µg/m³) (OMS 2021b)

| Polluant | Durée retenue pour le calcul des moyennes | Valeurs guides recommandées en 2005 | | Valeurs guides recommandées en 2021 | |
|-------------------|---|-------------------------------------|---|-------------------------------------|---|
| | | Valeur guide recommandée | Objectifs intermédiaires 1 2 3 | Valeur guide recommandée | Objectifs intermédiaires 1 2 3 4 ^d |
| PM _{2,5} | 24 heures ^a | 25 | 75 50 37,5 | 15 | 75 50 37,5 25 |
| PM ₁₀ | 24 heures ^a | 50 | 150 100 75 | 45 | 150 100 75 50 |
| O ₃ | Pic saisonnier ^b | – | – | 60 | 100 70 |
| | 8 heures ^a | 100 | (240) ^c 160 | 100 | 160 120 |
| NO ₂ | 24 heures ^a | – | – | 25 | 120 50 |
| SO ₂ | 24 heures ^a | 20 | 125 50 | 40 | 125 50 |

^a 99^{ème} percentile (3 à 4 jours de dépassement par an)

^b Moyenne de la concentration moyenne quotidienne maximale d'O₃ sur 8 heures au cours des six mois consécutifs où la concentration moyenne d'O₃ a été la plus élevée.

^c Classe « *niveaux importants : effets sanitaires significatifs ; proportion substantielle de populations vulnérables affectées.* »

^d L'objectif intermédiaire 4 recommandé en 2021 est équivalent à la valeur guide recommandée en 2005. Il n'existe pas d'objectif intermédiaire 4 dans les recommandations de 2005.

Dr Roger Genet

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

- Adães, J., et J. C. M. Pires. 2019. "Analysis and modelling of PM2.5 temporal and spatial behaviors in European cities." *Sustainability (Switzerland)* 11 (21). doi: 10.3390/su11216019.
- AEE. 2019a. "Download of air quality data." European Environment Agency. <https://discomap.eea.europa.eu/map/fme/AirQualityExport.htm>
- AEE. 2019b. "European Air Quality Index." European Environment Agency. <https://airindex.eea.europa.eu/Map/AQI/Viewer/>
- AEE. 2021. "Informations concernant la méthode de construction des bornes de l'European Air Quality Index". Communication personnelle par message électronique du 25 février 2021.
- Alari, A., L. Schwarz, L. Zabrocki, G. Le Nir, B. Chaix, et T. Benmarhnia. 2021. "The effects of an air quality alert program on premature mortality: A difference-in-differences evaluation in the region of Paris." *Environ Int* 156:106583. doi: 10.1016/j.envint.2021.106583.
- Andersen, Z. J., P. Wahlin, O. Raaschou-Nielsen, M. Ketzel, T. Scheike, et S. Loft. 2008. "Size distribution and total number concentration of ultrafine and accumulation mode particles and hospital admissions in children and the elderly in Copenhagen, Denmark." *Occup Environ Med* 65 (7):458-66. doi: 10.1136/oem.2007.033290.
- 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." <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2019SA0138.pdf> : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail ; 46 p.
- ARS-IDF. 2016. "Activité des Services d'Urgence d'Île-de-France 2016." Rapport de la Commission Régionale d'Experts Urgences disponible sur le site internet de l'Agence Régionale de Santé d'Ile-de-France <https://www.iledefrance.ars.sante.fr/activite-des-services-durgence-ile-de-france-rapports-annuels>. 67 p.
- Atmo-Auvergne-Rhone-alpes. 2019a. "Bilan 2019 Drôme-Ardèche". <https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/article/bilan-2019-drome-ardeche>
- Atmo-Auvergne-Rhone-alpes. 2019b. "Bilan 2019 Savoie / Métropole de Chambéry". https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/sites/ra/files/atoms/files/bilanqa2019_zoom73-savoie.pdf
- Atmo-Auvergne-Rhone-alpes. 2019c. "Haute-Savoie". <https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/article/haute-savoie>

- Atmo-Normandie. 2017. "Bilan 2017". http://www.etudes-normandie.fr/upload/crbn_cat/1/1324_4171_atmo_ndie_bilan2017.pdf
- CGDD. 2016. "Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2015." Rapport du Commissariat général au développement durable, 28 pages : http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/Datalab/2016/datalab-bilan-de-la-qualite-de-l-air-en-france-en-2015-octobre-2016-c.pdf
- CGDD. 2017. "Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2016." Rapport du Commissariat général au développement durable, 28 pages : http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/Datalab/2017/Datalab-26-bilan-de-la-qualite-de-l-air-en-france-en-2016-oct2017.pdf
- CGDD. 2018. "Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2017." Rapport du Commissariat général au développement durable, 36 pages : http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/Datalab/2018/datalab-45-bilan-qualite-air-exterieur-france-2017-octobre2018.pdf.
- CGDD. 2019. " Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2018." Rapport du Commissariat général au développement durable, 36 pages : https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2020-01/datalab-61-bilan-qualite-air-exterieur-france-2018-novembre2019_0.pdf. 36 p.
- CGDD. 2020. " Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2019." Rapport du Commissariat général au développement durable, 36 pages : https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2020-09/datalab_71_bilan_qualite_air_france_2019_septembre2020.pdf. 36 p.
- Chatignoux E, Host S. 2013. "Expositions à la pollution atmosphérique et recours aux urgences pour pathologies respiratoires chez les enfants en Ile-de-France". https://www.ors-idf.org/fileadmin/DataStorageKit/ORS/Etudes/Etude_1567/SyntheseErpurs2013_1_.pdf. Paris, 15ème arrondissement: Synthèse de l'Observatoire régional de santé Île-de-France. 8 p.
- DGS. 2021. "Informations concernant la méthode de construction des seuils d'information/recommandation et d'alerte actuellement en vigueur". Communication personnelle par message électronique du 12 février 2021.
- DREES. 2020. "S.A.E Diffusion - Statistique annuelle des établissements de santé ". Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques. <https://www.sae-diffusion.sante.gouv.fr/sae-diffusion/recherche.htm>
- Durand C, Pouey J, Azéma O, Longeaux N. 2012. "Intérêt du codage diagnostique pour une surveillance syndromique Oscour® représentative et réactive. Exemple en Midi-Pyrénées". <https://www.santepubliquefrance.fr/regions/occitanie/documents/communication-congres/2012/interet-du-codage-diagnostique-pour-une-surveillance-syndromique-oscour-R-representative-et-reactive.-exemple-en-midi-pyrenees>. Saint-Maurice: Santé Publique France. 18 p.
- EPA, US. 2016. "Integrated Science Assessment for Oxides of Nitrogen – Health Criteria." Final report de l'United States Environmental Protection Agency :

<https://www.epa.gov/isa/integrated-science-assessment-isa-nitrogen-dioxide-health-criteria> ;
Rapport No: EPA/600/R-15/068. 1148 p.

EPA, US. 2017. "Integrated Science Assessment for Sulfur Oxides – Health Criteria." Final report de l'United States Environmental Protection Agency : <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=338596> ; Rapport No: EPA/600/R-17/451. 696 p.

EPA, US. 2019. "Integrated Science Assessment (ISA) for Particulate Matter." Final report de l'United States Environmental Protection Agency : <https://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=347534> ; Rapport No: EPA/600/R-19/188. 1967 p.

EPA, US. 2020. "Integrated Science Assessment for Ozone and Related Photochemical Oxidants." Final report de l'United States Environmental Protection Agency : <https://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=348522> ; Rapport No: EPA/600/R-20/012. 1468 p.

Commission Européenne, 2021. "Air quality - revision of EU rules." Consulté le 27 avril 2021. <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12677-Revision-of-EU-Ambient-Air-Quality-legislation>.

GBD. 2019. Global Burden of Disease Study 2019. Seattle, United States: Global Burden of Disease Collaborative Network, Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), 2020.

Halonen, J. I., T. Lanki, T. Yli-Tuomi, M. Kulmala, P. Tiittanen, et J. Pekkanen. 2008. "Urban air pollution, and asthma and COPD hospital emergency room visits." *Thorax* 63 (7):635-41. doi: 10.1136/thx.2007.091371.

Host, S., S. Larrieu, L. Pascal, M. Blanchard, C. Declercq, P. Fabre, J. F. Jusot, B. Chardon, A. Le Tertre, V. Wagner, H. Prouvost, et A. Lefranc. 2008. "Short-term associations between fine and coarse particles and hospital admissions for cardiorespiratory diseases in six French cities." *Occup Environ Med* 65 (8):544-51. doi: 10.1136/oem.2007.036194.

Host S., Saunal A., Honoré C., Joly F., Le Tertre A., Medina S. 2018. "Bénéfices sanitaires attendus d'une zone à faibles émissions : évaluation quantitative d'impact sanitaire prospective pour l'agglomération parisienne." Paris: Observatoire régional de santé Île-de-France.

INSEE. 2017. "POP1B - Population par sexe et âge en 2017." <https://www.insee.fr/fr/statistiques/zones/4515319>.

INSEE. 2021. "Définition unité urbaine / agglomération / agglomération urbaine." <https://www.insee.fr/fr/statistiques/zones/4515319>.

InVS. 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" <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>. Saint-Maurice (France). 184 p.

InVS. 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" <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.](#) Saint-Maurice (France). 69 p.

InVS. 2008. "Programme de surveillance air et santé - Analyse des liens à court terme entre pollution atmosphérique urbaine et mortalité dans neuf villes françaises". <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>. Saint-Maurice (France): Institut de veille sanitaire. 41 p.

Iskandar, A., Z. J. Andersen, K. Bønnelykke, T. Ellermann, K. K. Andersen, et H. Bisgaard. 2012. "Coarse and fine particles but not ultrafine particles in urban air trigger hospital admission for asthma in children." *Thorax* 67 (3):252-7. doi: 10.1136/thoraxjnl-2011-200324.

Jarosinska, D. 2020. Revisions of the WHO Air Quality Guidelines: current status. Brussels Meeting on Air Pollution and Health: Recent Advances to Inform the European Green Deal, 21-22 janvier 2020, support de présentation <https://www.healtheffects.org/sites/default/files/Jarosinska-WHO-guidelines-brussels-2020.pdf>

LCSQA. 2018. "Les zones administratives et stations de surveillance." Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air. <https://www.lcsqa.org/fr/les-zones-administratives-et-stations-de-surveillance>

LCSQA. 2020. Liste des stations du dispositif national de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA/GEOD'AIR, date de mise à jour : 03/09/2020). : Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air.

Légifrance. 2012. Article L221-3 de la Section 1 du Code de l'Environnement relatif à la surveillance de la qualité de l'air ambiant. Version en vigueur le 24 avril 2021. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000022495529/

Légifrance. 2016a. Articles R221-1 à R221-3 de la Section 1 du Code de l'Environnement relatif à la surveillance de la qualité de l'air ambiant. Version en vigueur le 24 avril 2021. https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006074220/LEGISCTA000006177052/2021-04-24/

Légifrance. 2016b. 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. Version en vigueur le 14 avril 2021. <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000032376671/2021-04-24/>

Légifrance. 2016c. Arrêté du 26 décembre 2016 relatif au découpage des régions en zones administratives de surveillance de la qualité de l'air ambiant. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000033735017>

Liu, Cong, Renjie Chen, Francesco Sera, Ana M. Vicedo-Cabrera, Yuming Guo, Shilu Tong, Micheline S. Z. S. Coelho, Paulo H. N. Saldiva, Eric Lavigne, Patricia Matus, Nicolas Valdes Ortega, Samuel Osorio Garcia, Mathilde Pascal, Massimo Stafoggia, Matteo Scortichini, Masahiro Hashizume, Yasushi Honda, Magali Hurtado-Díaz, Julio Cruz, Baltazar Nunes, João P. Teixeira, Ho Kim, Aurelio Tobias, Carmen Íñiguez, Bertil Forsberg, Christofer Åström, Martina S. Ragettli, Yue-Leon Guo, Bing-Yu Chen, Michelle L. Bell, Caradee Y. Wright, Noah Scovronick, Rebecca M. Garland, Ai Milojevic, Jan Kyselý, Aleš Urban, Hans Orru, Ene Indermitte, Jouni J. K. Jaakkola, Niilo R. I. Rytö, Klea Katsouyanni, Antonis Analitis, Antonella

Zanobetti, Joel Schwartz, Jianmin Chen, Tangchun Wu, Aaron Cohen, Antonio Gasparrini, et Haidong Kan. 2019. "Ambient Particulate Air Pollution and Daily Mortality in 652 Cities." *New England Journal of Medicine* 381 (8):705-715. doi: 10.1056/NEJMoa1817364.

Meng, Xia, Cong Liu, Renjie Chen, Francesco Sera, Ana Maria Vicedo-Cabrera, Ai Milojevic, Yuming Guo, Shilu Tong, Micheline de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, Paulo Hilario Nascimento Saldiva, Eric Lavigne, Patricia Matus Correa, Nicolas Valdes Ortega, Samuel Osorio, Garcia, Jan Kyselý, Aleš Urban, Hans Orru, Marek Maasikmets, Jouni J. K. Jaakkola, Niilo Rytty, Veronika Huber, Alexandra Schneider, Klea Katsouyanni, Antonis Analitis, Masahiro Hashizume, Yasushi Honda, Chris Fook Sheng Ng, Baltazar Nunes, João Paulo Teixeira, Iulian Horia Holobaca, Simona Fratianni, Ho Kim, Aurelio Tobias, Carmen Íñiguez, Bertil Forsberg, Christofer Åström, Martina S. Ragettli, Yue-Liang Leon Guo, Shih-Chun Pan, Shanshan Li, Michelle L. Bell, Antonella Zanobetti, Joel Schwartz, Tangchun Wu, Antonio Gasparrini, et Haidong Kan. 2021. "Short term associations of ambient nitrogen dioxide with daily total, cardiovascular, and respiratory mortality: multilocation analysis in 398 cities." *BMJ* 372:n534. doi: 10.1136/bmj.n534.

MSS. 2019. "Recommandations en cas d'épisode de pollution." Ministère de la santé et des solidarités <https://solidarites-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/air-exterieur/qualite-de-l-air-exterieur-10984/article/recommandations-en-cas-d-episode-de-pollution>

MTES. 2020. Révision de l'indice ATMO. Présentation au Conseil National de l'air du 2 juillet 2020. édité par Ministère de la transition écologique et solidaire.

MTES. 2021. "Bilan des dépassements PM₁₀ déclarés par les AASQA sur la période 2017-2021. Extraction de la base LCSQA Vigilance atmosphérique".

OMS. 2006. "Air Quality Guidelines Global Update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide." <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/Housing-and-health/publications/pre-2009/air-quality-guidelines.-global-update-2005.-particulate-matter,-ozone,-nitrogen-dioxide-and-sulfur-dioxide> : Organisation mondiale de la santé; Contract No.: ISBN 92 890 2192 6. 484 p.

OMS. 2013. "Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project. Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide" <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/health-risks-of-air-pollution-in-europe-hrapie-project.-recommendations-for-concentrationresponse-functions-for-costbenefit-analysis-of-particulate-matter,-ozone-and-nitrogen-dioxide.> : Organisation mondiale de la santé. 60 p.

OMS. 2021a. "Health impact assessment." Consulté le 7 juin 2021. https://www.who.int/health-topics/health-impact-assessment#tab=tab_1

OMS. 2021b. "WHO Global Air Quality Guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide." <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>: Organisation mondiale de la santé; Contract No.: ISBN 978-92-4-003422-8. 300 p.

Orellano, Pablo, Julieta Reynoso, Nancy Quaranta, Ariel Bardach, et Agustin Ciapponi. 2020. "Short-term exposure to particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}), nitrogen dioxide (NO₂), and ozone (O₃) and all-cause and cause-specific mortality: Systematic review and meta-analysis." *Environment International* 142:105876. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105876>.

ORS-IDF. 2018. "Bénéfices sanitaires attendus d'une zone à faibles émissions : évaluation quantitative d'impact sanitaire prospective pour l'agglomération parisienne" <https://www.ors->

idf.org/fileadmin/DataStorageKit/ORS/Etudes/2018/Etude2018_8/ORS_benefices_sanitaires_attendus_ZFE_vd.pdf. Paris, 15ème arrondissement: Observatoire régional de santé Île-de-France. 106 p.

Pascal, L. ; Corso, M. ; Declercq, C. ; Medina, S. ; Pascal, M. ; Ung, A. 2013. "Effets sanitaires de la pollution de l'air : bilan de 15 ans de surveillance en France et en Europe." : Institut de veille sanitaire.

Pascal, Mathilde, Grégoire Falq, Vèreène Wagner, Edouard Chatignoux, Magali Corso, Myriam Blanchard, Sabine Host, Laurence Pascal, et Sophie Larrieu. 2014. "Short-term impacts of particulate matter (PM₁₀, PM_{10-2.5}, PM_{2.5}) on mortality in nine French cities." *Atmospheric Environment* 95:175-184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.06.030>.

Santus, P., A. Russo, E. Madonini, L. Allegra, F. Blasi, S. Centanni, A. Miadonna, G. Schiraldi, et S. Amaducci. 2012. "How air pollution influences clinical management of respiratory diseases. A case-crossover study in Milan." *Respir Res* 13 (1):95. doi: 10.1186/1465-9921-13-95.

SpFrance-Ile-de-France. 2019. "Semaine 52-2019 (du 23/12 au 29/12/2019) Surveillance épidémiologique en région Ile-de-France." Saint-Maurice: Santé Publique France. 7 p.

SpFrance. 2018. "Impact sanitaire de l'épisode de pollution aux PM10 de novembre-décembre 2016" file:///C:/Users/MREDAE~1/AppData/Local/Temp/42001_spf00000355.pdf. Saint-Maurice: Santé Publique France. 155 p.

SpFrance. 2019a. "Impact à court terme du dioxyde d'azote (NO₂) sur la mortalité dans 18 agglomérations françaises, 2010-2014" <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/documents/rapport-synthese/impact-a-court-terme-du-dioxyde-d-azote-no2-sur-la-mortalite-dans-18-agglomerations-francaises-2010-2014>. Saint-Maurice: Santé Publique France. 38 p.

SpFrance. 2019b. "Pollution atmosphérique. Guide pour la réalisation d'une évaluation quantitative des impacts sur la santé (EQIS). EQIS avec une exposition mesurée" <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/documents/guide/pollution-atmospherique.-guide-pour-la-realisation-d-une-evaluation-quantitative-des-impacts-sur-la-sante-egis.-egis-avec-une-exposition-mesuree>. Saint-Maurice: Santé Publique France. 88 p.

SpFrance. 2020. "Géodes - Géodonnées en santé publique." https://geodes.santepubliquefrance.fr/#c=indicator&f=A&i=sursaud_sau.prop_asthme_pass_sau&s=2021-S53&t=a01&view=map2

SpFrance. 2021. "Impact de pollution de l'air ambiant sur la mortalité en France métropolitaine. Réduction en lien avec le confinement du printemps 2020 et nouvelles données sur le poids total pour la période 2016-2019" <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/documents/enquetes-etudes/impact-de-pollution-de-l-air-ambiant-sur-la-mortalite-en-france-metropolitaine.-reduction-en-lien-avec-le-confinement-du-printemps-2020-et-nouvelle>. Saint-Maurice: Santé Publique France. 63 p.

Zeghnoun A, Eilstein D, Saviuc P, Filleul L, Le Goaster C, Cassadou S, Boumghar A, Pascal L, Medina S, Prouvost H, Le Tertre A, Declercq C, Quenel P. 2001. "Surveillance des effets à court terme de la pollution atmosphérique sur la mortalité en milieu urbain. Résultats d'une étude de faisabilité dans 9 villes françaises." *Rev. Epidém. et Santé Publ.* 49 (1): 3-12.

CITATION SUGGÉRÉE

Anses. (2021). Avis relatif à la modification des seuils de déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant. (saisine 2020-SA-0110). Maisons-Alfort : Anses, 115 p.

ANNEXE 1 PRESENTATION DES INTERVENANTS

Présentation 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.

EXPERTS RAPPORTEURS

Mme Bénédicte JACQUEMIN – Chargée de recherche (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale) – Spécialités : épidémiologie environnementale, pollution atmosphérique.

Mme Johanna LEPEULE – Chargée de recherche (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale) – Spécialités : pollution de l'air, épidémiologie environnementale, santé périnatale, grossesse, épigénétique, modélisation des expositions.

COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ

Les travaux, objets du présent rapport, ont été suivis et adoptés par le CES « Evaluation des risques liés aux milieux aériens ». Au cours de l'instruction de cette expertise, le CES a été renouvelé. La composition du CES ayant suivi ces travaux à l'occasion de la séance du 8 octobre 2020 était la suivante :

Présidente

Mme Rachel Nadif – Chargée de recherche (INSERM – Responsable Equipe, CESP U1018) – Spécialité : épidémiologie, santé respiratoire.

Vice-président

M. Christophe PARIS – Professeur des universités, praticien hospitalier (Université de Rennes 1 - Inserm U1085 IRSET – Centre hospitalier universitaire de Rennes). Spécialités : épidémiologie des risques professionnels, pathologies professionnelles, santé au travail.

Membres

Mme Sophie ACHARD – Enseignant chercheur, maître de conférence (Université Paris Descartes) – Spécialité : toxicologie environnementale.

Mme Christina ASCHAN-LEYGONIE – Enseignant-chercheur (Université Lumière Lyon 2 - UMR 5600 Environnement Ville Société - EVS) - Spécialités : géographie, milieux urbains, inégalités de santé.

Mme Valérie BEX – Responsable de la cellule santé habitat (Service parisien de santé environnementale) – Spécialités : métrologie des polluants biologiques, qualité de l'air intérieur.

Mme Nathalie BONVALLOT – Enseignant chercheur (Ecole des hautes études en santé publique) – Spécialités : toxicologie, évaluation des risques sanitaires.

M. Denis CAILLAUD – Professeur des universités, praticien hospitalier (CHU de Clermont-Ferrand) – Spécialités : pneumologie, allergologie, épidémiologie-environnement (pollens, moisissures).

M. Jean-Dominique DEWITTE - Professeur des universités, praticien hospitalier (Université de Brest) – Spécialités : santé travail, pneumologie.

M. Marc DURIF – Responsable de Pôle (Institut national de l'environnement industriel et des risques) – Spécialités : métrologie et méthode d'analyse des polluants de l'air, caractérisation des expositions.

Mme Emilie FREALLE – Praticien Hospitalier (Centre Hospitalier Régional Universitaire de Lille, Institut Pasteur de Lille) – Spécialités : écologie microbienne de l'air, microbiologie analytique, évaluation et prévention du risque microbiologique, surveillance de l'environnement intérieur.

M. Philippe GLORENEC – Enseignant chercheur (Ecole des hautes études en santé publique – Institut de recherche sur la santé, l'environnement et le travail, UMR Inserm 1085) – Spécialités : évaluation des expositions et des risques sanitaires d'origine chimique.

Mme Ghislaine GOUPIL – Chef de département, adjoint au chef du pôle environnement (Laboratoire Central de la Préfecture de Police) – Spécialités : métrologie des polluants (air intérieur, air ambiant et air des lieux de travail), techniques d'analyses, réglementation air.

Mme Marianne GUILLEMOT – Responsable d'études (Institut national de recherche et de sécurité) – Docteur en Chimie – Spécialités : métrologie, surveillance atmosphérique et des environnements professionnels.

Mme Bénédicte JACQUEMIN – Chargée de recherche (INSERM) – Spécialités : épidémiologie environnementale, pollution atmosphérique.

M. Olivier JOUBERT – Maître de conférences (Université de Lorraine) – Spécialités : toxicologie, sécurité sanitaire.

Mme Danièle LUCE – Directrice de recherche (Institut national de la santé et de la recherche médicale) – Spécialités : Epidémiologie, santé travail.

Mme Corinne MANDIN – Chef de division (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) – Spécialités : évaluation des expositions et des risques sanitaires, environnements intérieurs.

M. Fabien MERCIER – Ingénieur de recherche, Responsable R&D (Ecole des hautes études en santé publique / Laboratoire d'étude et de recherche en environnement et santé) – Spécialités : métrologie des polluants, méthodes d'analyse, air intérieur.

Mme Christelle MONTEIL – Enseignant-chercheur (Université de Rouen Normandie) – Spécialité : toxicologie.

Mme Anne OPPLIGER – Privat-Docteur & Maître d'Enseignement et de Recherche (Institut universitaire romand de Santé au Travail, Lausanne) – Spécialités : Santé travail, risques biologiques, bioaérosols, agents zoonotiques.

M. Pierre PERNOT – Responsable de service (Airparif) – Spécialités : surveillance et réglementation de la qualité de l'air.

La composition du CES ayant suivi ces travaux à l'occasion des séances des 11 janvier 2021, 18 mars 2021, 20 mai 2021, 11 juin 2021, 1^{er} juillet 2021, 10 septembre 2021 est la suivante :

Présidente

Mme Rachel Nadif – Responsable d'équipe, chargée de recherche, (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, CESP U1018) – Spécialités : épidémiologie, santé respiratoire.

Vice-président

M. Hervé LABORDE-CASTEROT - Praticien hospitalier (Centre antipoison de Paris, AP-HP Nord Université de Paris) – Spécialités : pathologies professionnelles, toxicologie clinique, épidémiologie, allergologie.

Membres

Mme Sophie ACHARD – Maître de conférences (Faculté de Santé - Université de Paris) – Spécialité : toxicologie environnementale.

M. Fabrice ALLIOT – Ingénieur d'études (Ecole Pratique des Hautes Etudes) – Spécialités : métrologie et méthode d'analyse des polluants de l'air, perturbateurs endocriniens.

M. Michel ANDRÉ – Directeur de recherche (Université Gustave Eiffel) – Spécialités : transports et pollution de l'air, métrologie et modélisation des émissions des véhicules et du trafic, méthodologies d'évaluation.

Mme Nathalie BONVALLOT – Enseignant chercheur (Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique – Institut de recherche sur la santé, l'environnement et le travail, UMR Inserm 1085) – Spécialités : toxicologie, évaluation des risques sanitaires, identification des mélanges et modèles de risques associés, perturbateurs endocriniens.

M. Patrick BROCHARD – Professeur émérite (Université de Bordeaux) – Spécialités : pneumologie, pathologies professionnelles et environnementales, impact sanitaire des particules inhalées (amiante, silice...).

Mme Fleur DELVA – Praticien hospitalier, médecin de santé publique (Centre Hospitalier Universitaire de Bordeaux) – Spécialités : médecine, prévention, reproduction, épidémiologie.

M. Jean-Dominique DEWITTE - Professeur des universités, praticien hospitalier (Centre Hospitalier Régional Universitaire de Brest) – Spécialités : pathologies professionnelles, pneumologie, allergologie.

M. Marc DURIF – Responsable de Pôle (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) – Spécialités : métrologie et méthode d'analyse des polluants de l'air, caractérisation des expositions.

Mme Emilie FREALLE – Praticien hospitalier (Centre Hospitalier Régional Universitaire de Lille, Institut Pasteur de Lille) – Spécialités : écologie microbienne de l'air, microbiologie analytique, évaluation et prévention du risque microbiologique, surveillance de l'environnement intérieur.

François GAIE-LEVREL – Ingénieur chercheur (Laboratoire national de métrologie et d'essais) – Spécialités : métrologie, pollution atmosphérique, aérosols, nanoparticules.

M. Philippe GLORENNEC – Enseignant chercheur (Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique – Institut de recherche sur la santé, l'environnement et le travail, UMR Inserm 1085) – Spécialité : évaluation des expositions et des risques sanitaires d'origine chimique.

Mme Marianne GUILLEMOT – Responsable d'études (Institut National de Recherche et de Sécurité) – Spécialités : métrologie, surveillance atmosphérique et des environnements professionnels.

Mme Marion HULIN - Chargée de projet et d'expertise scientifique (Santé Publique France) – Spécialités : épidémiologie, qualité de l'air intérieur, santé environnement, évaluation des expositions.

Mme Bénédicte JACQUEMIN – Chargée de recherche (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale) – Spécialités : épidémiologie environnementale, pollution atmosphérique.

M. Olivier JOUBERT – Maître de conférences (Université de Lorraine) – Spécialités : toxicologie, sécurité sanitaire, particules.

Juliette LARBRE - Directrice du Laboratoire Polluants Chimiques (Service Parisien de Santé Environnementale) – Spécialités : qualité de l'air intérieur et extérieur, métrologie, santé environnement.

Barbara LE BOT – Professeur des Universités, Directrice adjointe du Laboratoire d'étude et recherche en environnement et santé (Ecole des hautes études en santé publique) – Spécialités : évaluation des expositions, santé publique, métrologie et méthode d'analyse des polluants de l'air et poussières.

Johanna LEPEULE – Chargée de recherche (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale) – Spécialités : pollution de l'air, épidémiologie environnementale, santé périnatale, grossesse, épigénétique, modélisation des expositions.

Mme Danièle LUCE – Directrice de recherche (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale) – Spécialités : épidémiologie, santé travail, expositions professionnelle et environnementale.

Mme Corinne MANDIN – Chef de division (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur) – Spécialités : évaluation des expositions et des risques sanitaires, environnements intérieurs.

Mme Anne OPPLIGER – Responsable de recherche (Unisanté : Centre universitaire de médecine générale et santé publique de Lausanne) – Spécialités : santé travail, risques biologiques, bioaérosols, agents zoonotiques.

M. Pierre PERNOT – Directeur Opérationnel (Airparif) – Spécialités : métrologie, surveillance et réglementation de la qualité de l'air.

M. Nhan PHAM-THI – Enseignant chercheur, médecin (Institut de Recherche Biomédicale des Armées, Ecole Polytechnique) – Spécialités : allergologie, pneumologie.

Jean-Marc Thibaudier – Médecin du travail (Retraité - Mutualité Sociale Agricole des Alpes du Nord) – Spécialités : santé travail, médecine, agriculture, produits phytosanitaires, poussières agricoles.

PARTICIPATION ANSES

Coordination scientifique

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

Miora ANDRIANJAFIMASY – Coordinatrice d'expertise scientifique - Unité Évaluation des risques liés à l'air – Anses

Contribution scientifique

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

Mme Miora ANDRIANJAFIMASY – Coordinatrice d'expertise scientifique - Unité Évaluation des risques liés à l'air – Anses

Mme Valérie PERNELET-JOLY – Cheffe d'unité - Unité Évaluation des risques liés à l'air – Anses

Secrétariat administratif

Mme Sophia SADDOKI – Anses

AUDITIONS DE PERSONNALITÉS EXTÉRIEURES

Santé Publique France – 25 juin 2021

Madame Magali CORSO – Chargée d'étude scientifique - Direction Santé Environnement Travail

Madame Sylvia MEDINA – Coordinatrice du programme de surveillance air et santé - Direction Santé Environnement Travail

Madame Vèrene WAGNER – Statisticienne - Direction Appui, Traitements et Analyses des données

ANNEXE 2 COURRIER DE SAISINE

2020-SA-0110



**DIRECTION GENERALE
DE L'ENERGIE ET DU CLIMAT**
Sous-direction de l'efficacité
énergétique et de la qualité de l'air

**DIRECTION GENERALE
DE LA SANTE**
Sous-direction de la prévention
des risques liés à l'environnement
et à l'alimentation

Paris, le **12 AOUT 2020**

Le Directeur général de la santé

Le Directeur général de l'énergie et du climat

à

**Monsieur le Directeur général de l'Agence nationale
de sécurité sanitaire de l'alimentation, de
l'environnement et du travail (Anses)**

Objet : saisine relative à la modification des seuils de déclenchement des mesures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant à la suite de la révision de l'indice ATMO

L'article R. 221-5 du code de l'environnement prévoit la mise à disposition d'un indice de qualité de l'air, calculé selon des modalités définies par arrêté du ministre chargé de l'environnement. Cet indice est l'indice « ATMO » créé par l'arrêté du 10 janvier 2000 remplacé par l'arrêté du 22 juillet 2004, modifié par l'arrêté du 21 décembre 2011.

Votre rapport d'expertise d'avril 2017 (saisine n° 2016-SA-0092) relatif aux normes de qualité de l'air rappelle par ailleurs la nécessité d'améliorer la prise de conscience collective de l'exposition chronique à la pollution atmosphérique et souligne que « l'opportunité de repenser l'indice de communication ATMO, dont la conception initiale date de plus de 20 ans, et l'utilisation qui en est faite, est à saisir ».

Dans ce cadre, les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) ont engagé des travaux afin de proposer un nouvel indice. Sur la base de ces travaux, les membres du Conseil national de l'air ont adopté lors de la séance du 11 septembre 2019 un avis favorable à un nouvel indice ATMO proche de l'indice européen développé par l'agence européenne pour l'environnement (AEE), avec un certain nombre de différences méthodologiques. Cette nouvelle proposition d'indice a par ailleurs fait l'objet d'une note d'appui scientifique et technique par vos services (note n° 2019-SA-0138).

En novembre 2019, l'indice européen a été modifié, suite à quoi il a été décidé que la nouvelle version de l'indice ATMO reprendrait l'ensemble les seuils nouvellement définis par l'AEE.

Bien que l'indice ATMO soit à distinguer du dispositif de déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant, il convient de veiller à la cohérence des deux dispositifs, comme cela existe actuellement. Il a donc été décidé de lancer les travaux préalables à la modification du dispositif de déclenchement de mesures préfectorales d'ici fin 2021. Cette modification permettra d'introduire les PM_{2,5} et de modifier les seuils des autres polluants afin que, pour tous les polluants, le seuil d'information/recommandation corresponde au passage d'un indice ATMO « dégradé » à « mauvais » et le seuil d'alerte corresponde au passage d'un indice ATMO « mauvais » à « très mauvais ».

Ces dispositions se concrétiseront par les modifications suivantes :

- Pour les PM_{2,5}, création du seuil d'information/recommandation à 25 µg/m³ et du seuil d'alerte à 50 µg/m³ ;
- Pour les PM₁₀, maintien du seuil d'information à 50µg/m³ et passage du seuil d'alerte de 80 µg/m³ à 100 µg/m³ ;
- Pour le NO₂, passage du seuil d'information/recommandation de 200 µg/m³ à 120 µg/m³ et du seuil d'alerte de 400 µg/m³ à 230 µg/m³ ;
- Pour l'ozone, passage du seuil d'information/recommandation de 180 µg/m³ à 130 µg/m³ et maintien du seuil d'alerte à 240 µg/m³ ;
- Pour le SO₂, passage du seuil d'information/recommandation de 300 µg/m³ à 350 µg/m³ et maintien du seuil d'alerte à 500 µg/m³.

En application de l'article L.221-1 du code de l'environnement, une saisine de l'ANSES est requise pour modifier par décret en Conseil d'Etat l'article R 221-1 du code de l'environnement afin d'introduire des seuils pour les particules PM_{2,5} et de modifier les seuils pour les autres polluants. La consultation du Conseil d'Etat a été annoncée au Conseil national de l'air pour le 3^{ème} trimestre 2021.

Dans ce cadre, nous vous remercions de bien vouloir nous transmettre, dans les meilleurs délais, votre proposition de contrat d'expertise relatif à la pertinence des seuils retenus.

Le Directeur Général de la Santé

Pr. Jérôme SALOMON



Le Directeur Général de l'Energie et du Climat

Laurent MICHEL



ANNEXE 3 THE EUROPEAN AIR QUALITY INDEX

Le texte ci-dessous décrivant la méthode de construction de l'indice *European Air Quality Index* est celui présenté sur le site de l'Agence Européenne de l'Environnement dédié à cet indice (<https://airindex.eea.europa.eu/Map/AQI/Viewer/#> « About the European Air Quality Index »).

The European Air Quality Index allows users to understand more about air quality where they live, work or travel. Displaying up-to-date information for Europe, users can gain insights into the air quality in individual countries, regions and cities.

The Index is based on concentration values for up to five key pollutants, including:

- particulate matter (PM₁₀);
- fine particulate matter (PM_{2.5});
- ozone (O₃);
- nitrogen dioxide (NO₂);
- sulphur dioxide (SO₂).

It reflects the potential impact of air quality on health, driven by the pollutant for which concentrations are poorest due to associated health impacts.

The index is calculated hourly for more than two thousand air quality monitoring stations across Europe, using up-to-date data reported by EEA member countries. These data are not formally verified by the countries.

By default, the air quality index depicts the situation 3 hours ago. Users can then select any hour in the preceding 48 hours and view forecast values for the following 24 hours.

The user can filter the selection by country and by station type. Stations are classified in relation to the predominant emission sources: traffic, industry and background (where the pollution level is dominated neither by traffic nor by industry). The user can view all stations, traffic stations only or non-traffic stations only (i.e. industrial and background stations).

European Union legislation sets [air quality standards](#) for both short-term (hourly or daily) and long-term (annual) air quality levels. Standards for long-term levels are stricter than for short-term levels, since serious health effects may occur from long-term exposure to pollutants.

The Index indicates the short-term air quality situation. It does not reflect the long-term (annual) air quality situation, which may differ significantly.

The air quality index is not a tool for checking compliance with air quality standards and cannot be used for this purpose.

• Methodology

The Index uses '[up-to-date](#)' [air quality data](#) officially reported every hour by EEA member countries, complemented where necessary by modelled air quality data from the [European Union's Copernicus Atmosphere Monitoring Service](#) (CAMS).

Concentrations values for up to five key pollutants determine the index level that reflects air quality at each monitoring station. The index corresponds to the poorest level for any of five pollutants, according to the table shown below.

Circles and dots on the map represent the locations of air quality monitoring stations. The colours reflect air quality at the given hour at that station.

- **Calculating the index for traffic stations**

When calculating the index for traffic stations we only use data for NO₂ and PM (either PM_{2.5}, PM₁₀ or both). This is because SO₂ concentrations can be high in localized areas and distort the picture of local air quality, while ozone levels are normally very low at traffic stations.

- **Calculating the index for industrial and background stations**

At industrial and background stations, the index is calculated for those stations with data (either measured or modelled) for at least the three pollutants NO₂, O₃ and PM (either PM_{2.5}, PM₁₀ or both).

- **Stations missing data for certain pollutants**

To avoid leaving out stations that do not report data for all pollutants or for which missing data cannot be gap-filled, the index is calculated for all monitoring stations with data for at least one pollutant. Those stations that do not report data or for which data cannot be gap-filled for the minimum pollutants for that station type are depicted as semi-transparent circles, indicating that the index is not calculated with the minimum range of pollutants. The station is coloured as grey unless the index is poor or worse, when the current index colour is used.

Grey dots indicate stations for which no data have been reported to allow the index to be calculated.

- **Averaging time for pollutants**

For NO₂, O₃ and SO₂, hourly concentrations are fed into the calculation of the index.

For PM₁₀ and PM_{2.5}, the 24-hour running means for the past 24 hours are fed into the calculation of the index. A 24-hour running mean will be calculated if there are values for at least 18 out of the 24 hours.

- **Missing data and gap filling**

When data is not reported for a given hour, values are approximated, or 'gap-filled' using CAMS modelled air quality data. In such cases, it is marked with an asterisk.

The method used for gap-filling depends on the pollutant.

- For NO₂, PM_{2.5} and PM₁₀ we use the difference method.
- For O₃ we use the multiplicative method.
- No gap filling is performed for SO₂

Difference method: The value is approximated by taking the CAMS modelled value and adding or subtracting a correction difference. This correction is the average difference between previously measured values and the CAMS modelled value for the same hour for at least three of the four previous days.

Multiplicative method: The value is approximated by taking the CAMS modelled value, and applying a correction factor. This correction is the average ratio between the previously measured values and the CAMS modelled values for the same hour for at least three of the four previous days.

In cases where there are no measured values for the same hour over three of the four previous days, the value for the given pollutant is not calculated.

- **Forecast index**

Forecast values are shown as transparent circles. Circles are coloured as grey if the minimum number of required pollutants, depending on the type of station, could not be forecast and the forecast index is good, fair or moderate.

To calculate the forecast values for the following 24 hours, CAMS modelled air quality data are used and corrected using the gap-filling methods described above. No forecast values are provided for SO₂.

- **Bands of concentrations and index levels**

The bands are based on the relative risks associated to short-term exposure to PM_{2.5}, O₃ and NO₂, as defined by the World Health Organization in its report on the Health Risks of Air Pollution in Europe project ([HRAPIE project report](#)).

The relative risk of exposure to PM_{2.5} is taken as basis for driving the index, specifically the increase in the risk of mortality per 10 µg/m³ increase in the daily mean concentration of PM_{2.5}.

Assuming linearity across the relative risks functions for O₃ and NO₂, we calculate the concentrations of these pollutants that pose an equivalent relative risk to a 10 µg/m³ increase in the daily mean of PM_{2.5}.

For PM₁₀ concentrations, a constant ratio between PM₁₀ and PM_{2.5} of 1:2 is assumed, in line with the World Health Organization's [air quality guidelines](#) for Europe.

For SO₂, the bands reflect the limit values set under the [EU Air Quality Directive](#).

| Pollutant | Index level (based on pollutant concentrations in µg/m3) | | | | | |
|---|---|---------|----------|---------|-----------|----------------|
| | Good | Fair | Moderate | Poor | Very poor | Extremely poor |
| Particles less than 2.5 µm (PM _{2.5}) | 0-10 | 10-20 | 20-25 | 25-50 | 50-75 | 75-800 |
| Particles less than 10 µm (PM ₁₀) | 0-20 | 20-40 | 40-50 | 50-100 | 100-150 | 150-1200 |
| Nitrogen dioxide (NO ₂) | 0-40 | 40-90 | 90-120 | 120-230 | 230-340 | 340-1000 |
| Ozone (O ₃) | 0-50 | 50-100 | 100-130 | 130-240 | 240-380 | 380-800 |
| Sulphur dioxide (SO ₂) | 0-100 | 100-200 | 200-350 | 350-500 | 500-750 | 750-1250 |

Air quality measurements that exceed the maximum values in the 'extremely poor' category are not taken into account for the index calculation, since these values are typically found to be erroneous.

- Health messages**

The index bands are complemented by health related messages that provide recommendations for both the general population and sensitive populations. The latter includes both adults and children with respiratory problems and adults with heart conditions.

| AQ index | General population | Sensitive populations |
|----------------|---|--|
| Good | The air quality is good. Enjoy your usual outdoor activities. | The air quality is good. Enjoy your usual outdoor activities. |
| Fair | Enjoy your usual outdoor activities | Enjoy your usual outdoor activities |
| Moderate | Enjoy your usual outdoor activities | Consider reducing intense outdoor activities, if you experience symptoms. |
| Poor | Consider reducing intense activities outdoors, if you experience symptoms such as sore eyes, a cough or sore throat | Consider reducing physical activities, particularly outdoors, especially if you experience symptoms. |
| Very poor | Consider reducing intense activities outdoors, if you experience symptoms such as sore eyes, a cough or sore throat | Reduce physical activities, particularly outdoors, especially if you experience symptoms. |
| Extremely poor | Reduce physical activities outdoors. | Avoid physical activities outdoors. |

- **Additional information**

When clicking on a station on the map, a pop-up window appears with the following additional information:

1. The name of the station and the air quality index at that station and hour.
2. A “View station” option, that provides the location of the station using © Google Maps.
3. A “Show details” option, with a summary of the station information; the air quality index and the associated health advice for the general population and sensitive populations; links to information on air pollution for the country where the station is located and to the webpage of the administration in charge of reporting the concentrations for that station and two graphs.

The values indicated when hovering over the horizontal pizza-diagrams show the hourly AQ Index, the hourly concentrations for NO₂, O₃ and SO₂, and the 24-hour running means for PM measured at the station or gap-filled over the last 7 days. An asterisk next to a value indicates that the value has been gap-filled

The pie chart indicates the number of days that fell under each Index band over the past 365 days. The highest hourly Index level in a day determines the daily Index level taken into account.

- **Further information**

The European Environment Agency publishes a range of information on air quality:

- [Air pollution web page](#)
- [Air quality live: Up-to-date air quality measurement](#)
- [Key air quality statistics for the main air pollutants: map viewer](#)
- [‘Air Quality in Europe’ – latest report](#)
- [Air pollution country profiles](#)

The European Air Quality Index was developed jointly by the [European Commission’s Directorate General for Environment](#) and the [European Environment Agency](#) to inform citizens and public authorities about the recent air quality status across Europe.

**ANNEXE 4 ORIGINE SUPPOSEE DES EQUATIONS A L'ORIGINE DES BORNES DE
THE EUROPEAN AIR QUALITY INDEX POUR O₃ ET NO₂**

Pour PM_{2,5}, on a : $RR_{\Delta PM_{2,5}} = e [\Delta PM_{2,5}/10 * \ln(RR_{10})]$

$\Delta PM_{2,5}$ étant un différentiel de concentration en PM_{2,5} donné.

Donc, par exemple, pour un différentiel de concentration entre une valeur C_{PM_{2,5}} et 0, on a :

$$RR_{(C_{PM_{2,5}}-0)} = e (C_{PM_{2,5}}/10 * \ln(RR_{10 PM_{2,5}}))$$

Pour chaque valeur de C_{PM_{2,5}}, on peut donc trouver chaque RR_{CPM_{2,5}}.

Ensuite, l'AEE détermine les bornes (c'est-à-dire les concentrations limites entre chaque niveau d'indice) des autres polluants (NO₂ et O₃), en faisant l'hypothèse d'une relation également Log-linéaire pour ces polluants (NO₂ et O₃), et en imposant que le risque induit pour ces polluants à ces concentrations, soit équivalent au RR induit par la concentration de PM_{2,5} indiquant la même borne.

Ce qui, sous forme d'équations se traduit par :

$$RR_{(C_{NO_2}(\text{borne } i)-0)} = e (C_{NO_2(\text{borne } i)}/10 * \ln(RR_{10 NO_2}))$$

Et on veut que : $RR_{(C_{NO_2}(\text{borne } i))} = RR_{(C_{PM_{2,5}}(\text{borne } i))}$

D'où :

$$e (C_{NO_2(\text{borne } i)}/10 * \ln(RR_{10 NO_2})) = e (C_{PM_{2,5}(\text{borne } i)}/10 * \ln(RR_{10 PM_{2,5}}))$$

$$\text{donc : } (C_{NO_2(\text{borne } i)}/10 * \ln(RR_{10 NO_2})) = (C_{PM_{2,5}(\text{borne } i)}/10 * \ln(RR_{10 PM_{2,5}}))$$

d'où :

$$C_{NO_2(\text{borne } i)} = C_{PM_{2,5}(\text{borne } i)} * \ln(RR_{10 PM_{2,5}}) / \ln(RR_{10 NO_2})$$

ANNEXE 5 CONCENTRATIONS EN POLLUANTS DANS LES ETUDES EPIDEMIOLOGIQUES, TOXICOLOGIQUES ET D'EXPOSITION HUMAINE CONTROLEE MONTRANT DES ASSOCIATIONS A COURT TERME AVEC DES EFFETS SANITAIRES

Tableau 1 : Concentrations moyennes en PM2.5 observées dans les études d'associations à court terme entre PM 2.5 et effets sanitaires

| Type d'effets sanitaires | Type d'étude | Effets sanitaires à court terme | Pays | Concentration moyenne ambiante associée à un effet (µg/m3) | | Pas de temps | |
|--|-------------------------|---|------------------------------------|--|---------------|--------------|---------|
| | | | | la plus faible | la plus forte | | |
| Effets respiratoires ⇒ Relation causale probable | Etudes épidémiologiques | Admission à l'hôpital ou visites aux urgences pour des exacerbations d'asthme, des exacerbations de la BPCO, ou toutes maladies respiratoires | USA et Canada | 4,70 | 24,6 | 24h-moy | |
| | | | France | 15,7 | | | |
| | | | Europe | 8,80 | 27,7 | | |
| | | | | Asie | 11,8 | 69,9 | |
| | | | Mortalité respiratoire | USA et Canada | 7,90 | 19,9 | |
| | | Etudes toxicologiques | Maladies respiratoires allergiques | | 356 | 596 | 8h/jour |
| | | BPCO | | 171 | 1200 | 2h | |
| | | Défense de l'hôte altérée | | 100 | 250 | 3h | |

| | | | | | | |
|--|---------------------------------------|---|---------------|------|------|--------------------------|
| Effets cardiovasculaires ⇒ Relation causale avérée | Etudes épidémiologiques | Augmentation des visites aux urgences et les admissions à l'hôpital liées aux maladies coronariennes | | 5,80 | 18,6 | 24h-moy |
| | | Hospitalisations pour pathologies cardiovasculaires, pathologies cardiaques, et cardiopathies ischémiques | France | 15,7 | | |
| | | Fréquence cardiaque élevée | | 5,80 | 18,0 | |
| | Etudes d'exposition humaine contrôlée | Dysfonctionnement endothélial, pression artérielle | | 24,0 | 353 | 2h |
| | Etudes toxicologiques | Altération de la fonction cardiaque | | 178 | 190 | 5h/jour pour 8 sem et 4h |
| Mortalité totale ⇒ Relation causale avérée | Etudes épidémiologiques | Mortalité totale (non-accidentelle) | USA et Canada | 4,37 | 18,0 | 24h-moy |
| | | | France | 15,1 | | |
| | | | Europe | 13,0 | 27,7 | |
| | | | Asie | 11,8 | 69,9 | |

BPCO : bronchopneumopathie chronique obstructive

Tableau 2 : Concentrations moyennes en O₃ observées dans les études d'associations à court terme entre O₃ et effets sanitaires

| Type d'effets sanitaires | Type d'étude | Effets sanitaires à court terme | Pays | Concentration moyenne ambiante associée à un effet (µg/m ³) | | Pas de temps |
|---|------------------------------------|---|------|---|---------------|-----------------------------|
| | | | | la plus faible | la plus forte | |
| Effets respiratoires => relation causale avérée | | | | | | |
| Effets respiratoires chez des sujets sains | Exposition humaine contrôlée | Diminution de la fonction ventilatoire | | 120,0 | 800,0 | 6,6h |
| | | Augmentation des symptômes respiratoires | | 140,0 | 800,0 | 2h |
| | | Augmentation de la réactivité des voies respiratoires | | 160,0 | 2000 | 2h à 6,6h |
| | | Inflammation, lésion et stress oxydant | | 120,0 | 1200 | 6h à 18h |
| | Etudes toxicologiques | Altération des paramètres ventilatoires | | 200,0 | 4000 | 2h |
| | | Toux | | | 4000 | 0,5-1h |
| | | Augmentation de la réactivité des voies respiratoires | | 600,0 | 4000 | 2h |
| | | Inflammation, lésion et stress oxydant | | 300,0 | 4000 | 3h à 4jours |
| | | Réponse immunitaire de type 2 - voies respiratoires inférieures et supérieures | | 1000 | 1600 | 4h/jour pour 1 ou 9jours |
| | Etudes épidémiologiques | Fonction ventilatoire | | 65,20 | | 8h moving avg |

| Type d'effets sanitaires | Type d'étude | Effets sanitaires à court terme | Pays | Concentration moyenne ambiante associée à un effet (µg/m3) | | Pas de temps |
|--|--|--|---------------------|--|---------------|-------------------|
| | | | | la plus faible | la plus forte | |
| | | Inflammation pulmonaire | | 106 | 246 | 1-h avg |
| | | | | 63,20 | | 8-h moving avg |
| Exacerbation de l'asthme et effets respiratoires associés chez des populations d'asthmatiques | Etudes épidémiologiques chez patients avec asthme sévère | Augmentation de l'admission à l'hôpital et des visites aux urgences liées à l'asthme chez des enfants, et tous les âges | USA et Canada | 61,40 | 107,8 | 8h-max/avg |
| | | | | 45,00 | 83,80 | 24h avg |
| | Exposition humaine contrôlée | Confirmation les résultats observés chez les sujets sains (ex: diminution de la fonction ventilatoire) | | ≥ 250 | | ≥ 2h |
| | Etudes toxicologiques (modèles animaux (rongeurs) de maladie allergique des voies respiratoires) | Augmentation de la réponse allergique, bronchoconstriction, réactivité des voies respiratoires, paramètres ventilatoires altérés | | 200,00 | 4000 | 3h à 10 jours |
| | Etudes de panels chez des enfants avec asthme | Symptômes respiratoires, diminution de la fonction ventilatoire, inflammation pulmonaire | | 86,00 | 131,6 | 1-h max |

| Type d'effets sanitaires | Type d'étude | Effets sanitaires à court terme | Pays | Concentration moyenne ambiante associée à un effet (µg/m ³) | | Pas de temps |
|--|---|---|------------------|---|---------------|-----------------|
| | | | | la plus faible | la plus forte | |
| | | | | 63,20 | 105,8 | 8-h max |
| Exacerbation de la BPCO et effets respiratoires associés chez des populations avec BPCO | Etudes épidémiologiques chez patients avec BPCO sévère | Augmentation des visites aux urgences liées à la BPCO | USA et Canada | 36,80 | 58,40 | 24h avg |
| | | | | 66,00 | 110,0 | 1h avg |
| | Etudes toxicologiques | Augmentation des lésions, inflammation, stress oxydant et modification de la morphologie et de la mécanique pulmonaire dans un modèle animal (rongeur) de BPCO | | 1600 | | 3h |
| Infection respiratoire | Etudes épidémiologiques | Augmentation des visites aux urgences pour pneumonie | | 66,00 | 110,0 | 1h max |
| | | | | 84,20 | | 8h max |
| | | | | 66,00 | 110,0 | 1h max |
| | | | | 66,00 | 110,0 | 1h max |
| | | Augmentation des visites aux urgences pour infections des voies respiratoires supérieures | | 75,00 | 94,40 | 8h max |

| Type d'effets sanitaires | Type d'étude | Effets sanitaires à court terme | Pays | Concentration moyenne ambiante associée à un effet (µg/m ³) | | Pas de temps |
|---|-------------------------|---|--------|---|---------------|-----------------|
| | | | | la plus faible | la plus forte | |
| | | | | 45,00 | 58,40 | 24h avg |
| | Etudes toxicologiques | Sensibilité accrue aux maladies infectieuses | | 160,0 | 4000 | 3h |
| | | Augmentation de la réponse inflammatoire aux maladies infectieuses | | | 4000 | <u>3h</u> |
| Admissions à l'hôpital et visites aux urgences liées à la respiration | Etudes épidémiologiques | Augmentation des admissions à l'hôpital et des visites aux urgences liées à toutes maladies respiratoires (ex : asthme, BPCO, bronchite, etc) | France | 66,00 | 110,0 | 1h max |
| | | | | 61,40 | 100,6 | 8h max |
| | | Hospitalisations pour pathologies respiratoires | | 86,65 | | 24h-moy |
| Mortalité respiratoire | Etudes épidémiologiques | Augmentation de la mortalité en réponse à une exposition à court terme à l'ozone | | 13,40 | 76,80 | 1h max |
| | | | | 30,20 | 125,6 | 8h avg/max |
| | | | | 38,60 | | 24h avg |
| Effets métaboliques => relation causale probable | | | | | | |
| | Etudes épidémiologiques | Augmentation des indicateurs d'altération du glucose et de l'homéostasie glucidique (HOMA-IR, dyslipidémie, taux d'hba1c, glycémie à jeun) | | 53,60 | | Moyenne sur 5j |

| Type d'effets sanitaires | Type d'étude | Effets sanitaires à court terme | Pays | Concentration moyenne ambiante associée à un effet (µg/m ³) | | Pas de temps |
|-----------------------------|-----------------------|---|------|---|---------------|---------------------------------|
| | | | | la plus faible | la plus forte | |
| | Etudes toxicologiques | Intolérance au glucose et résistance à l'insuline | | 500,0 | 2000 | 5h/j sur 2j ou sur 3j/sem |
| | | Augmentation du triglycéride et des acides gras | | 1600 | 2000 | 3h ou 5h/j sur 3j/sem |
| | | Augmentation de la corticostérone et de l'adrénaline | | 1600 | 2000 | 4h ou 5h/j sur 3j/sem |
| Exposition contrôlée | humaine | Formation de corps cétoniques, augmentation des acides gras et augmentation du cortisol et de la corticostérone | | 600,0 | | 2h |

Tableau 3 : Concentrations moyennes en NO₂ observées dans les études d'associations à court terme entre NO₂ et effets sanitaires

| Type d'effets sanitaires | Type d'étude | Effets sanitaires à court terme | Pays | Concentration moyenne ambiante associée à un effet (µg/m ³) | | Pas de temps | |
|---|-------------------------|---|------|---|---------------|--|---|
| | | | | la plus faible | la plus forte | | |
| Effets respiratoires => relation causale avérée | | | | | | | |
| Exacerbation de l'asthme | Exposition contrôlée | humaine Augmentation de la réactivité des voies respiratoires chez les adultes asthmatiques exposés au repos après une provocation non spécifique ou à un allergène | | | 191,2 | 1h | |
| | | | | | 382,4 | 573,6 | 30 min |
| | | | | | 191,2 | | 1h |
| | | | | | 267,7 | | 30 min |
| | | | | | 497,1 | | 15-30min |
| | | | | | 764,8 | | 6h |
| | | | | | 1111 | | 30 min |
| | | | | | 144,4 | | 2h-moy (sur un site proche de la route) |
| | | | | | 54,68 | | 24h-avg |
| | | | | | | Baisse de la fonction ventilatoire et inflammation pulmonaire | |

| Type d'effets sanitaires | Type d'étude | Effets sanitaires à court terme | Pays | Concentration moyenne ambiante associée à un effet (µg/m3) | | Pas de temps |
|--------------------------|-------------------------|---|------|--|---------------|--|
| | | | | la plus faible | la plus forte | |
| | | Admission à l'hôpital et visites aux urgences liées à l'asthme | | 21,61 | 59,85 | 24h-avg |
| | | | | 43,98 | 84,13 | 1h-max |
| | | Effets liés à l'asthme (symptômes respiratoires, baisse de la fonction ventilatoire, inflammation pulmonaire) | | 144,4 | | 2h-avg (moyenne extérieure personnelle) |
| | | | | 54,68 | | 24h-moy (moyenne totale personnelle) |
| | | | | 6,501 | 34,80 | 1 sem-moy (moyenne extérieure dans les écoles) |
| | | | | 44,55 | | 1h-max (Moyenne pondérée en fonction de la population du site central) |
| Exacerbation de la BPCO | Etudes épidémiologiques | Augmentation des visites aux urgences et des admissions à l'hôpital dues à la BPCO | | 46,08 | 120,5 | 24h-moy |

| Type d'effets sanitaires | Type d'étude | Effets sanitaires à court terme | Pays | Concentration moyenne ambiante associée à un effet (µg/m ³) | | Pas de temps |
|--|--------------------------------------|---|------|---|---------------|-------------------------------------|
| | | | | la plus faible | la plus forte | |
| | | | | | 120,5 | 1h-max |
| | Exposition contrôlée | humaine Baisse de la fonction ventilatoire | | 573,6 | | 1h, 4h |
| Infections respiratoires | Etudes toxicologiques | Mortalité par infection bactérienne ou virale chez des animaux | | 2868 | 9560 | 3h |
| | | | | 2868 | pic à 8604 | 1 à 7,5h |
| | Etudes épidémiologiques | Visite aux urgences et admissions à l'hôpital pour infection respiratoire | | 22,37 | 54,68 | 24h-moy (moyenne totale des études) |
| | | | | 17,78 | 66,16 | 24h-moy (moyenne des villes) |
| Mortalité respiratoire | Etude épidémiologique multicentrique | Mortalité respiratoire | | 25,81 | 106,1 | 24h-moy |
| Effets respiratoires chez des sujets sains | Etude épidémiologique | Symptômes respiratoires chez les enfants | | 24,86 | | 24h-moy |
| | Exposition contrôlée | humaine Augmentation de la réactivité des voies respiratoires chez les adultes au-dessus de 1000 ppb de NO ₂ | | 1912 | 3824 | 3h |

| Type d'effets sanitaires | Type d'étude | Effets sanitaires à court terme | Pays | Concentration moyenne ambiante associée à un effet (µg/m ³) | | Pas de temps |
|-----------------------------|--------------|--|------|---|---------------|--------------|
| | | | | la plus faible | la plus forte | |
| | | Symptômes respiratoires ou fonction ventilatoire chez les adultes | | 382,4 | 7648 | 2 à 5h |
| | | Inflammation : augmentation des cellules polymorphonucléaires et des prostaglandines chez des sujets sains | | 2868 | 6692 | 20min à 3-4h |

Tableau 4 : Concentrations moyennes en SO₂ observées dans les études d'associations à court terme entre SO₂ et effets sanitaires

| Type d'effets sanitaires | Type d'étude | Effets sanitaires à court terme | Pays | Concentration moyenne ambiante associée à un effet (µg/m ³) | | Pas de temps |
|---|------------------------------------|---|------|---|---------------|-----------------|
| | | | | la plus faible | la plus forte | |
| Effets respiratoires => relation causale avérée | | | | | | |
| Exacerbation de l'asthme | Exposition humaine contrôlée | Baisse de la fonction ventilatoire après des expositions de 5 à 10 min de personnes asthmatiques qui font de l'exercice | | 1064 | 1596 | 5-10 min |
| | | Diminution du VEMS chez des répondeurs après des expositions de 5 à 10 min à 0,3 ppm de SO ₂ | | 798,0 | | 5-10 min |
| | | Diminution de la fonction ventilatoire après des expositions de 5 à 10 min chez 5 à 30% des personnes asthmatiques qui font de l'exercice | | 532,0 | 798,0 | 5-10 min |
| | | Augmentation des symptômes respiratoires suite à des expositions de 5 à 10 min chez des personnes asthmatiques qui font de l'exercice. | | 1064 | 2660 | 5-10 min |
| | | Augmentation des éosinophiles chez des adultes asthmatiques exposés au SO ₂ | | 1995 | | 10 min |
| | Etudes épidémiologiques | | | 25,54 | 28,73 | 1h-max |

| Type d'effets sanitaires | Type d'étude | Effets sanitaires à court terme | Pays | Concentration moyenne ambiante associée à un effet (µg/m3) | | Pas de temps |
|-----------------------------|---|---|-------------------------|--|---------------|-----------------|
| | | | | la plus faible | la plus forte | |
| | | Augmentation des admissions à l'hôpital et des visites aux urgences liées à l'asthme (tout âge, enfants et personnes âgées) | | 2,74 | 98,15 | 24h-avg |
| | | Symptômes respiratoires chez des enfants asthmatiques | | 10,64 | | 24h-avg |
| | | Augmentation de l'hyperréactivité bronchique dans une population d'adultes asthmatiques et une prévalence élevée d'atopie | | | 103,7 | 24h-avg |
| Mortalité respiratoire | Etudes épidémiologiques (multicentriques) | Augmentation de la mortalité respiratoire | U.S., Canada, Europe | 1,064 | 75,01 | 24h-avg |
| | | | Asie | 1,862 | 532,0 | 24h-avg |

ANNEXE 6 METHODE D'EVALUATION QUANTITATIVE DES BENEFICES SANITAIRES ATTENDUS DU RESPECT DES SEUILS PROPOSES D'INFORMATION/RECOMMANDATION ET D'ALERTE PM2,5 SUR LES PASSAGES AUX URGENCES POUR ASTHME CHEZ LES MOINS DE 18 ANS EN FRANCE

Principe des EQIS

Le principe des EQIS et des outils utiles à leur réalisation sont décrits dans un guide de Santé Publique France publié en 2019 (SpFrance 2019b). La méthode développée pour la présente EQIS s'appuie sur ce document guide.

Sur le principe, « les EQIS supposent une relation causale entre l'exposition à un polluant et la survenue d'un effet sur la santé. Les EQIS utilisent les relations concentration-risque ou risques relatifs (RR) issus des études épidémiologiques et les appliquent aux données de santé et environnementales propres à la zone étudiée. Les résultats permettent d'objectiver le fardeau de la pollution, les bénéfices pour la santé attendus pour différents scénarios, et/ou les impacts potentiels d'actions visant à réduire les niveaux de pollution, afin d'aider les parties prenantes à planifier et mettre en oeuvre des mesures permettant de protéger la santé de la population. La mise en oeuvre d'une EQIS est donc restreinte aux polluants et événements de santé pour lesquels la relation causale a été établie et pour lesquels il existe des RR suffisamment robustes et des données de surveillance de la pollution et des effets sur la santé » (SpFrance 2019b).

L'EQIS développée ici consiste à estimer l'impact hypothétique d'une baisse de la pollution atmosphérique, toutes choses égales par ailleurs. Les résultats représentent le nombre d'événements de santé qu'on observerait au moment de l'étude si la concentration du polluant avait été ramenée à la valeur des seuils d'information/recommandation et d'alerte. Les différentes étapes sont présentées dans la Figure 13. Les chapitres suivants décrivent les éléments de méthode développés pour la présente EQIS et afférant à ces étapes.

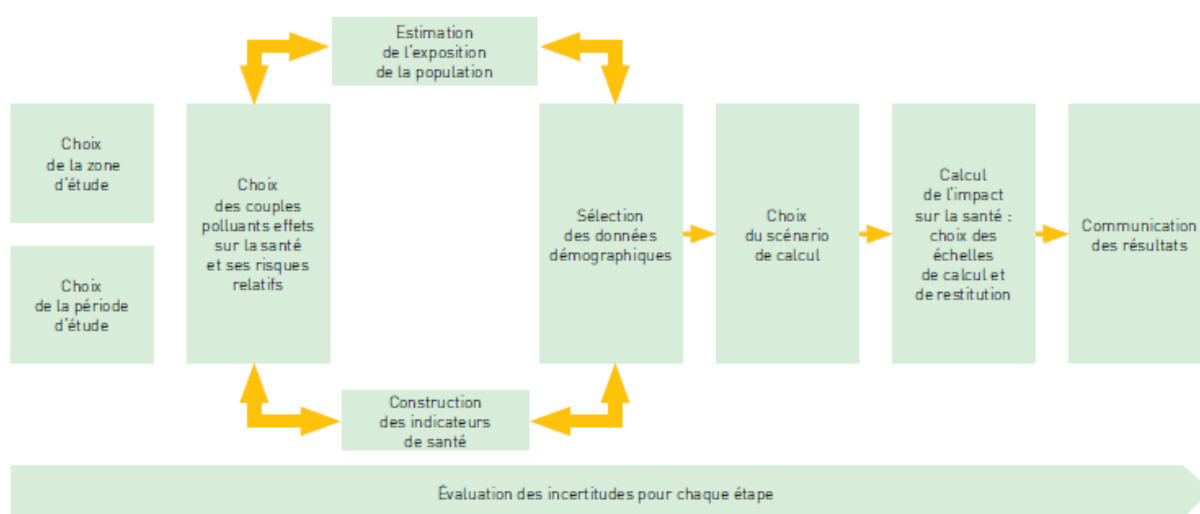


Figure 13 : Les étapes d'une évaluation quantitative des impact sur la santé (EQIS) (SpFrance 2019b)

Couple polluant-effet sanitaire et fonction concentration-risque

Le choix de la fonction concentration-risque (ou risque relatif RR) se base sur les RR récemment recommandés par Santé Publique France (SpFrance 2019b). Parmi les cinq polluants faisant l'objet d'une proposition de seuils ($PM_{2,5}$, PM_{10} , NO_2 , O_3 et SO_2), seul le polluant $PM_{2,5}$ et seuls les risques de passage aux urgences pour asthme chez l'enfant de moins de 18 ans sont investigués. Plusieurs considérations ont guidé cette orientation :

- $PM_{2,5}$: il n'existe actuellement pas de seuils d'information/recommandation et d'alerte et l'impact de l'introduction des seuils pour ce polluant est probablement important en termes d'évolution du nombre de jours de dépassements, au regard des résultats de simulations prédisant un nombre important de dépassements des bornes $PM_{2,5}$ correspondantes de l'indice ATMO (simulations réalisées dans le cadre de la révision de l'indice ATMO) (ANSES 2019, MTES 2020).
 - o Des RR sont recommandés par Santé Publique France (SpF) pour différents indicateurs (SpFrance 2019b) mais seul l'indicateur « passages aux urgences pour asthme (J45-J46) chez 0-17 ans » est accessible via la plateforme de données Geodes (SpFrance 2020). A noter que cet indicateur apparaît être le plus sensible (estimation centrale du RR la plus élevée, donc bénéfices sanitaires en relatif les plus élevés) ;
- PM_{10} : il n'est pas proposé de modification du seuil d'information et de recommandation qui reste fixé à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière. Aucune modification de l'impact sanitaire n'est donc attendue. En ce qui concerne la modification du seuil d'alerte, celui-ci n'est pas proposé d'être revu à la baisse mais à la hausse, en passant de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière à $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière. Aucun bénéfice n'est à attendre d'une telle mesure. Au vu des données passées en revue, aucun argument sanitaire ne vient par ailleurs justifier une telle valeur augmentée. Les dépassements du seuil d'alerte PM_{10} en France sur la période 2017-2021 sont inexistantes ou extrêmement rares en fonction des régions, à l'exception notable de la Guyanne, de la Guadeloupe et de la Martinique (MTES 2021) ;
- SO_2 : aucun RR ne fait consensus dans la littérature épidémiologique sur les effets à court terme pour la réalisation d'évaluation quantitative d'impact sanitaire. Il n'est donc pas possible d'évaluer quelque modification que ce soit qui serait induite par la modification des seuils d'information et d'alerte pour ce polluant ;
- NO_2 : absence de concordance entre les RR recommandés par SpF portant sur des concentrations moyennes journalières alors que les seuils d'information et d'alerte correspondent à des moyennes horaires ;
- O_3 : absence de concordance entre les RR recommandés par SpF portant sur des maxima journaliers de concentration moyenne sur 8 heures, alors que les seuils d'information et d'alerte correspondent à des moyennes horaires. Par ailleurs, les données de santé pour lesquelles des RR sont recommandés n'ont pas été accessibles dans le calendrier d'expertise.

Le Tableau 7 ci-après présente les RR recommandés sur les différents couples polluant-effet pour la réalisation d'EQIS, **avec en gras le RR utilisé pour la présente EQIS**.

Tableau 7 : RRs pour +10 µg/m³ recommandés par Santé Publique France (SpFrance 2019b) et RR utilisé pour la présente EQIS (en gras)

| | PM _{2,5} Conc. moy. journalière | PM ₁₀ Conc. moy. journalière | O ₃ Max. journalier des conc. moy. 8h | NO ₂ Conc. moy. journalière | SO ₂ Ø |
|---|--|---|--|--|----------------------|
| RR mortalité non-accidentelle (A00-R99) | 1,0063 [1,0025–1,01009] | 1,0030 [1,0013-1,047] (à défaut si conversion PM _{2,5} →PM ₁₀ impossible) | Ø | 1,0075 [1,0040- 1,011] | Ø |
| RR hospitalisation pour causes respiratoires (J00-J99) | 1.0190 [0.9982 –1.0402] | Ø | 1.0044 [1.0007–1.0083] chez > 65 ans | 1.0180 [1.0115–1.0245] | Ø |
| RR passages aux urgences pour asthme (J45- J46) chez 0-17 ans | 1,098 [1,012-1,190] | Ø | Ø | 1,0101 [0,99 -1,02] | Ø |
| RR Hospitalisations pour causes cardio-vasculaires (incluant les accidents vasculaires cérébraux - AVC) (I00 - I99) | 1.0091 [1.0017–1.0166] | Ø | Ø | Ø | Ø |
| RR Hospitalisations pour causes cardio-vasculaires (excluant les AVC) (I00-I52) chez > 65 ans | Ø | Ø | 1.0089 [1.0050– 1.0127] | Ø | Ø |

Les caractéristiques des études incluses dans la méta-analyse de (Host S. 2018) à l'origine du RR utilisé sont présentées dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Caractéristiques des études incluses dans le RR recommandé par Santé Publique France (SpFrance 2019b) pour PM_{2,5} et passages aux urgences pour asthme (J45- J46) chez 0-17 ans (adapté de Host S. (2018))

| Localisation | Période d'étude | Lag (jour) | Méthode statistique | Indicateur | Codification | Tranche d'âge | Nombre de cas | Référence |
|-----------------------|-----------------|------------|---------------------|----------------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------------|
| Paris (France) Erpurs | 2007-2011 | 0-1 | ST | Recours aux urgences | CIM-10 J45-46 | 2-15 | 34 000 | (Chatignoux E. 2013) |
| Copenhague (Danemark) | 2001-2004 | 5 | ST | Hospitalisation | CIM-10 J45-46 | 5-18 | 3 981 | (Andersen <i>et al.</i> 2008) |
| Helsinki* (Finlande) | 1998-2004 | 4 | ST | Recours aux urgences | CIM-10 J45-46 | <15 | 4 807 | (Halonen <i>et al.</i> 2008) |
| Copenhague (Danemark) | 2001-2008 | 0-4 | CC | Hospitalisation | CIM-10 J45-46 | 0-18 | 6 329 | (Iskandar <i>et al.</i> 2012) |
| Milan (Italie) | 2007-2008 | 0-2 | CC | Recours aux urgences | CIM-10 J45-46 | <16 | 1 400 | (Santus <i>et al.</i> 2012) |

* Stations trafic ST : série temporelle CC : cas-croisé

Cette méta-analyse inclut des estimations de risque associées à différents nombres de jours entre l'exposition et le passage au service d'urgence, allant d'une exposition le jour-même et celui précédant le passage (lag 0-1) à une exposition 5 jours avant le passage (lag 5). L'étude de Chatignoux E. (2013) a observé que les effets des expositions sur les passages sont concentrés sur les 5 jours précédant le passage au service d'urgence pour asthme chez les 2-14 ans (Figure 13). Pour la présente EQIS, cette période (lag 0-5) est retenue pour le traitement des séries journalières de concentration en PM_{2,5} et de passages aux services

d'urgence (voir p.84). Ce point fait l'objet d'une analyse de sensibilité décrite plus loin en remplaçant la période lag 0-5 par lag 0-1.

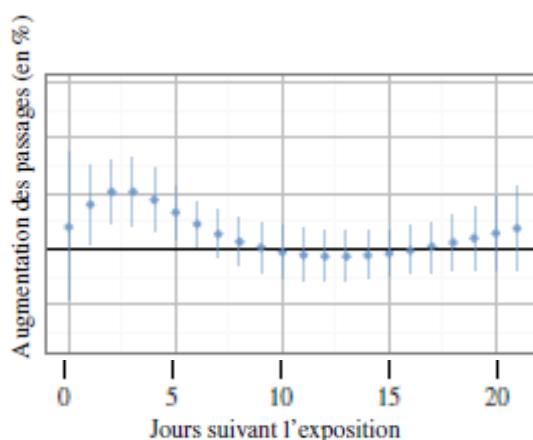


Figure 13 : Augmentation (en %) du nombre de passages aux urgences pour asthme chez les 2-14 ans dans les trois semaines suivant une élévation des niveaux de concentration en PM_{2,5} (adapté de Chatignoux E. (2013))

Période d'étude

La période d'étude porte sur trois années consécutives en vue de lisser les fluctuations inter-annuelles (en particulier celles des conditions climatiques) et d'être ainsi représentatives de conditions d'exposition moyennes et habituelles. Les trois dernières années consécutives pour lesquelles nous disposons des données validées de concentrations PM_{2,5}, pour la majorité des unités urbaines présentes dans les « zones à risques - agglomération » et les « zones à risques – hors agglomération » du territoire national et équipées d'au moins une station mesurant les PM_{2,5}, correspondent à la **période 2016-2018 qui est ainsi retenue**. Cette période concorde de plus avec la dernière année pour laquelle les données de recensement INSEE sont disponibles (2017), ces données étant également utilisées dans l'étude. A noter cependant que cette période inclut l'hiver 2016-2017 comportant des épisodes de particules particulièrement intenses qui ont pu avoir un impact sur les niveaux de concentrations et sur les passages aux services d'urgence. Ce point fait l'objet d'une analyse de sensibilité décrite plus loin.

Zones et population d'étude

Le choix des zones d'étude vise à inclure les aires géographiques comprenant à la fois la grande majorité de la population française et les niveaux de concentration PM_{2,5} les plus élevés, afin de constituer une population d'étude aussi représentative que possible de la population française exposée aux épisodes de dépassement des seuils de pollution.

En conséquence, les zones d'étude ciblées sont les unités urbaines localisées dans les « zones à risques - agglomération » (ZAG) et dans les « zones à risques – hors agglomération » (ZAR) du territoire national (Figure 14) et équipées d'au moins une station de fond (péri)urbain mesurant les PM_{2,5} sur la période 2016-2018. Les « zones régionales » (ZR) ne sont pas incluses.

La population d'étude ciblée correspond à la population domiciliée sur ces zones d'étude et âgée de moins de 18 ans en 2017, en cohérence avec le RR utilisé qui s'applique aux 0-17 ans.

Les ZAG, ZAR et ZR correspondent au découpage de la France en zones administratives de surveillance (ZAS) afin de répondre aux règles européennes. Ce zonage est indispensable pour les besoins de rapportage des données de mesure de la qualité de l'air auprès de la Commission européenne pour les polluants réglementés. Ces zones sont délimitées en tenant compte des niveaux de polluants, des populations exposées, des sources d'émissions, des conditions météorologiques qui prévalent dans ces zones et de l'impact de leur création sur le coût du dispositif national de surveillance. Depuis le 1^{er} janvier 2017, un nouveau zonage a été mis en place. Les zones administratives de surveillance sont classées en trois catégories (Légifrance 2016c) :

- « zone à risques - agglomération » (ZAG) qui comporte une agglomération de plus de 250 000 habitants, telle que définie par l'arrêté prévu à l'article L. 222-4 du code de l'environnement, ou ayant une densité d'habitants au kilomètre carré supérieure à un seuil établi par le ministère chargé de l'environnement
- « zone à risques – hors agglomération » (ZAR) qui ne répond pas aux critères des ZAG et dans lesquelles les normes de qualité de l'air mentionnées à l'article R. 221-1 du code de l'environnement ne sont pas respectées ou risquent de ne pas l'être
- « zone régionale » (ZR) qui s'étend sur le reste du territoire de la région

Périmètre des ZAS au 1^{er} janvier 2017

ZAS (Zone Administrative de Surveillance) : partie du territoire délimitée aux fins de l'évaluation et de la gestion de la qualité de l'air.

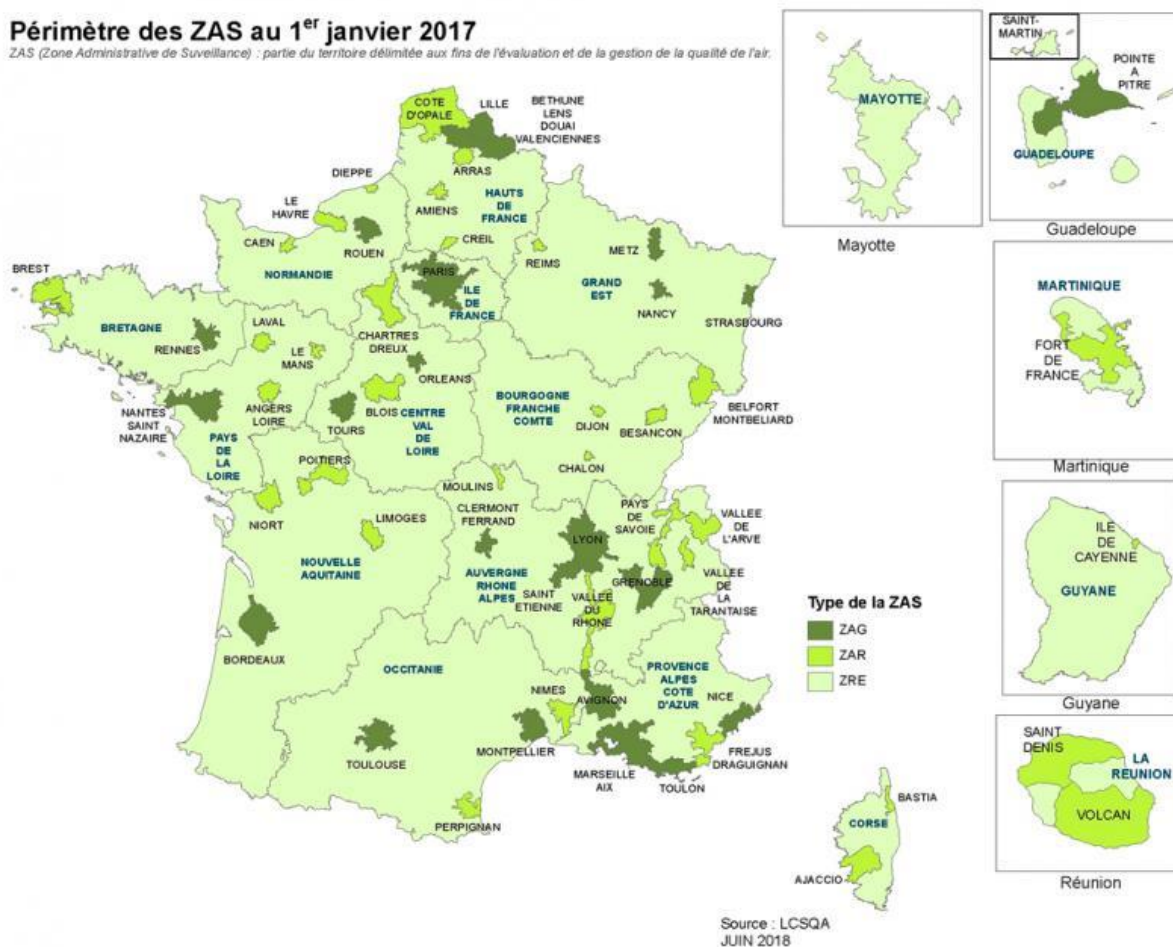


Figure 14 : Zones administratives de surveillance (LCSQA 2018)

Une unité urbaine est définie comme le territoire d'une ou de plusieurs communes dont plus de la moitié de la population réside dans une zone d'au moins 2 000 habitants dans laquelle aucune habitation n'est séparée de la plus proche de plus de 200 mètres (INSEE 2021). En France, une unité urbaine (terme administratif) correspond à une agglomération urbaine (terme courant).

Les unités urbaines présentes sur les ZAG et les ZAR et disposant d'au moins une station de surveillance de la qualité de l'air et celles incluant au moins une station de fond (péri)urbain mesurant les PM_{2,5} ont été identifiées à partir de la liste des stations du dispositif national de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA 2020). Parmi ces unités urbaines, celles disposant de données de concentrations PM_{2,5} validées sur la période 2016-2018 ont été identifiées par le code de la station à partir de l'extraction des données de concentrations centralisées dans la base DiscoMap de l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE 2019a). Après traitement des données de concentration PM_{2,5}, les unités urbaines pour lesquelles le pourcentage de données manquantes était inférieur à 20% sur l'année 2016, 2017 ou 2018 ont finalement été incluses. La liste des unités urbaines ainsi incluses et exclues est présentée en Annexe 7.

Les effectifs de population âgée de moins de 18 ans et domiciliée dans ces unités urbaines sont issus du recensement INSEE réalisé en 2017 (INSEE 2017). Ces effectifs sont disponibles en Annexe 7.

Données de concentration PM_{2,5}, nombre de dépassements des seuils proposés d'information et d'alerte et évaluation de l'exposition

Données de concentration

Sur chaque unité urbaine de la zone d'étude, l'exposition de la population à la pollution PM_{2,5} est caractérisée par la concentration journalière mesurée sur les stations de fond (péri)urbain présentes sur l'unité urbaine. Les données de concentration par station sur la période 2016-2018 sont issues de la base DiscoMap de l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE) (AEE 2019a). Cette base centralise les concentrations horaires rapportées par les états membres. Seules les données validées, vérifiées et considérées officielles par l'AEE sont extraites (données E1a). Les données horaires sont ensuite agrégées en concentrations moyennes journalières. Si plus de 25% des valeurs horaires sont manquantes pour une journée, l'indicateur journalier n'est pas calculé, et la valeur est considérée comme manquante. Les données manquantes (DM) sont remplacées par la méthode des moyennes saisonnières (SpFrance 2019b), lorsque le taux de DM sur une station-année est inférieur ou égale à 20 %. Pour le calcul des moyennes saisonnières en métropole, les périodes « été » commencent le 21 mars et se terminent le 20 septembre, et les périodes « hiver » commencent le 21 septembre et se terminent le 20 mars. Pour l'unité urbaine de Saint-Denis à la Réunion, les périodes « été » commencent le 16 décembre et se terminent le 15 avril, et les périodes « hiver » commencent le 16 avril et se terminent le 15 décembre. Lorsque le taux de DM est supérieur à 20 %, les données de l'unité urbaine sur l'année en question sont exclues des étapes suivantes de l'EQIS.

Nombre de dépassements des seuils proposés d'information et d'alerte

Les jours de dépassement des seuils proposés d'information/recommandation (25 µg/m³) et des seuils d'alerte (50 µg/m³) mesurés à chaque station sont ensuite identifiés (station et date), dénombrés et rapportés au nombre total de jours sur la période d'étude. L'identification des jours de dépassement permet ensuite de ramener la concentration mesurée sur ces jours à la valeur des seuils d'information/recommandation et d'alerte pour le calcul des bénéfices sanitaires.

A noter que cette méthode d'identification et de dénombrement des dépassements ne répond pas à la définition réglementaire d'un dépassement (Légifrance 2016a, 2016b) qui peut également être basée sur des critères de population, de superficie et si possible sur de la modélisation. Ces textes prévoient toutefois que « *en l'absence de modélisation de la qualité de l'air, un épisode de pollution peut être caractérisé par constat d'une mesure de dépassement d'un seuil sur au moins une station de fond* ».

Évaluation de l'exposition

Dans l'objectif de quantifier l'impact sanitaire du maintien des concentrations PM_{2,5} à niveau inférieur aux seuils, la mesure aux stations (péri)urbaines de fond comme proxy de l'exposition est cohérente avec la méthode de mesure de l'exposition utilisée dans les études épidémiologiques à l'origine du méta-RR utilisé (Andersen *et al.* 2008, Chatignoux E 2013,

Halonen *et al.* 2008, Iskandar *et al.* 2012, Santus *et al.* 2012), contrairement à l'utilisation de données de concentrations qui seraient modélisées sur le territoire.

A partir des concentrations moyennes journalières obtenues sur chaque station, la concentration d'exposition est calculée par la moyenne du jour du passage au service d'urgence et des 5 jours précédant le passage. En l'absence de lag associé au méta-RR recommandé, ce lag est retenu afin de correspondre à la période où les effets des expositions sur les passages aux urgences pour asthme pédiatrique (enfants de moins de 15 ans) sont concentrés (Chatignoux E. 2013), et afin d'intégrer les différentes périodes de décalage incluses dans ce méta-RR (lag 0-1 à lag 5) (cf p.80).

L'effectif de la population exposée correspond à la population résidente sur chaque unité urbaine en 2017 (INSEE 2017). Afin de prendre en compte des différences possibles de niveaux d'exposition entre les stations d'une même unité urbaine, les effectifs de population impactés sont d'abord considérés sur des échelles spatiales plus fines (ex : au département pour l'unité urbaine de Paris ou à la commune pour les unités urbaines comportant un seul département). L'effectif de la population exposée est ensuite calculé sur l'unité urbaine en utilisant le ratio de l'effectif de population de moins de 18 ans de l'unité urbaine sur la somme des effectifs de population de moins de 18 ans à l'échelle inférieure.

Passages aux services d'urgence pour asthme

Les données disponibles sont des taux hebdomadaires de passages aux urgences pour asthme chez les moins de 15 ans à l'échelle des départements sur la période d'étude 2016-2018, extraites de la base de géodonnées Geodes (SpFrance 2020). Ces taux correspondent au nombre de passages aux urgences avec un diagnostic médical de crise d'asthme, divisé par le nombre total de passages aux urgences avec un diagnostic médical renseigné. Pour la présente EQIS, ces taux hebdomadaires de passages aux urgences pour asthme sont supposés constants sur les jours de la semaine. Les valeurs manquantes sur le taux hebdomadaire au département sont remplacées par la valeur régionale. Le taux de données manquantes (DM) était nul ou quasi nul sur l'ensemble des départements, à l'exception de l'Oise (58 %), de la Savoie (5 %) et du Doubs (3%) (Tableau 9).

Pour estimer les nombres journaliers de passages aux urgences pour asthme chez les moins de 18 ans, ces taux sont multipliés par le nombre total de passages aux urgences chez les moins de 18 ans sur le même département. Les données sur le nombre total de passages aux urgences sont extraites de la plateforme sur la Statistique annuelle des établissements de santé S.A.E Diffusion (DREES 2020) et correspondent à un nombre annuel de passages aux urgences à l'échelle des départements sur la période d'étude 2016-2018 (DM=0 %). Ce nombre annuel est décomposé sur chaque jour de l'année. Hors, ce nombre n'est pas constant sur l'année, et ce d'autant plus chez les enfants de moins de 18 ans avec des valeurs sensiblement plus faibles en juillet et en août (Figure 15). Afin de prendre en compte cette fluctuation, un redressement est effectué sur la proportion mensuelle du nombre total annuel de passages aux urgences chez les moins de 18 ans à partir des données d'activité des services d'urgence d'Île-de-France en 2016. Ce redressement est appliqué aux nombres totaux annuels de passages disponibles pour l'ensemble des départements de la zone d'étude.

Les nombres journaliers de passages aux urgences pour asthme chez les moins de 18 ans à l'échelle des unités urbaines sont ensuite calculés en utilisant le ratio de l'effectif de population de moins de 18 ans de l'unité urbaine sur l'effectif de population de moins de 18 ans du (ou des) département(s) sur l'unité urbaine.

Les données sur les taux de passages pour asthme de la base Geodes sont issues du Système de Surveillance sanitaire des urgences et des décès (SurSaUD[®]) développé par Santé publique France, depuis 2003. Ce système intègre les données du réseau OSCOUR[®] (Organisation de la surveillance coordonnée des urgences) et des associations SOS-Médecins. Il repose sur la collecte quotidienne de données d'activité de différents systèmes de soins et de mortalité en temps quasi réel (J+1). Les données du réseau OSCOUR[®] sont collectées à partir du format RPU (Résumé de passages aux urgences). Le nombre de structures d'urgences participant au réseau OSCOUR[®] évolue au cours du temps. En 2018, le réseau compte 690 structures d'urgences. Il enregistre 88% des passages aux urgences au niveau national en 2016, 92% en 2017 et 93% en 2018. Cette couverture varie selon les régions et les départements. Tous les départements sont couverts par le réseau OSCOUR[®], à l'exception de la Martinique. Parmi les passages enregistrés, les taux de codage des diagnostics sont variables d'un département à l'autre. D'après les données parcellaires disponibles, ces taux pourraient se situer à ~70-85 % et être parfois inférieurs comme pour les départements de Paris ou des Hauts-de-Seine (~60 %) (SpFrance-Ile-de-France 2019, ORS-IDF 2018, Durand C 2012).

Les données sur le nombre total de passages aux urgences de la plateforme S.A.E Diffusion sont issues d'une enquête administrative, exhaustive et obligatoire auprès des établissements de santé installés en France (métropole et DROM). Les données sont collectées par la DREES (Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques).

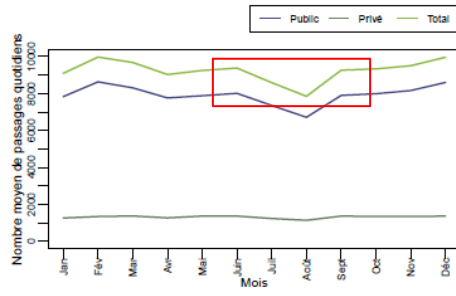


FIGURE 3.4.1: Passage journalier moyen par mois (SU réguliers, cf. glossaire)

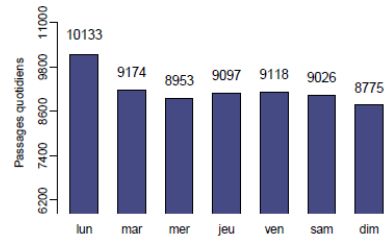


FIGURE 3.4.4: Nombre moyen de passages par jour de la semaine (SU réguliers)

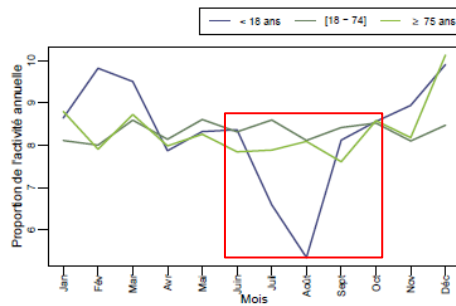


FIGURE 3.4.2: Proportion de l'activité effectuée chaque mois selon la classes d'âge

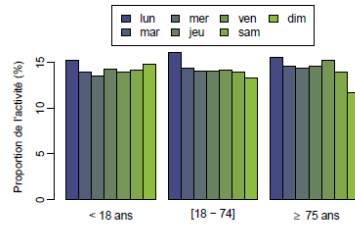


FIGURE 3.4.5: Proportion de l'activité de chaque jour de la semaine dans les tranches d'âge (SU réguliers)

Figure 15 : Variation temporelle des passages aux services d'urgence franciliens en 2016 (ARS-IDF 2016)

Tableau 9 : Taux de données manquantes (% DM) sur le taux hebdomadaire de passage aux urgences pour asthme chez les moins de 15 ans et sur le nombre annuel de passages aux urgences chez les moins de 18 ans

En gras les % DM > 1 %

| Département | % DM Taux hebdomadaire de passage aux urgences pour asthme < 15 ans | % DM Nombre annuel de passages aux urgences < 18 ans |
|---------------------|---|--|
| Alpes-Maritimes | 0 % | 0 % |
| Bas-Rhin | 0 % | 0 % |
| Bouches-du-Rhône | 0 % | 0 % |
| Calvados | 0 % | 0 % |
| Côte-d'Or | 0 % | 0 % |
| Deux-Sèvres | 0 % | 0 % |
| Doubs | 2,6 % | 0 % |
| Drôme | 0 % | 0 % |
| Finistère | 0 % | 0 % |
| Gard | 0 % | 0 % |
| Gironde | 0 % | 0 % |
| Haute-Garonne | 0 % | 0 % |
| Haute-Savoie | 0 % | 0 % |
| Haute-Vienne | 0 % | 0 % |
| Hérault | 0 % | 0 % |
| Ille-et-Vilaine | 0 % | 0 % |
| Indre-et-Loire | 0 % | 0 % |
| Isère | 0 % | 0 % |
| Loire | 0 % | 0 % |
| Loire-Atlantique | 0 % | 0 % |
| Loiret | 0 % | 0 % |
| Maine-et-Loire | 0,6 % | 0 % |
| Marne | 0 % | 0 % |
| Meurthe-et-Moselle | 0 % | 0 % |
| Moselle | 0 % | 0 % |
| Nord | 0 % | 0 % |
| Oise | 58 % | 0 % |
| Paris | 0 % | 0 % |
| Pas-de-Calais | 0 % | 0 % |
| Puy-de-Dôme | 0,6 % | 0 % |
| Pyrénées-Orientales | 0,6 % | 0 % |
| Réunion | 0 % | 0 % |
| Rhône | 0 % | 0 % |
| Sarthe | 0 % | 0 % |
| Savoie | 5,1 % | 0 % |
| Seine-Maritime | 0 % | 0 % |
| Seine-St-Denis | 0 % | 0 % |
| Val-de-Marne | 0 % | 0 % |
| Var | 0 % | 0 % |
| Vaucluse | 0 % | 0 % |
| Vienne | 0 % | 0 % |

Calcul des bénéfices sanitaires associés au respect des seuils proposés d'information/recommandation et d'alerte PM_{2,5} sur les passages aux urgences pour asthme chez les personnes âgées de moins de 18 ans

1. Impact des effets à court terme de la pollution PM_{2,5} de l'air ambiant sur les passages aux urgences pour asthme

A partir du RR recommandé (1,098 [1,012-1,190] pour 10 µg/m³ ; cf p.80) et sous l'hypothèse admise d'une relation linéaire entre ln(RR) et la concentration X en PM_{2,5}, le facteur de pente β est alors calculé selon l'équation [1] :

$$\beta = \frac{\ln(RR)}{X} \quad [1]$$

A partir du RR, la fraction attribuable aux effets à court terme de l'exposition à la pollution PM_{2,5} de l'air ambiant sur une agglomération (unité urbaine) FA_{aggl}, évitable pour une baisse de la concentration d'exposition ΔX = X_s – X_o, peut être calculée selon l'équation [2] :

$$FA_{aggl} = \frac{e^{\Delta X \cdot \beta} - 1}{e^{\Delta X \cdot \beta}} \quad [2]$$

ΔX est calculé chaque jour sur 2016-2018 et sur chaque station. La concentration d'exposition X_s correspond à la concentration moyenne du jour du passage au service d'urgence et des 5 jours précédant le passage (cf p.84). X_o correspond au 5^{ème} percentile des concentrations d'exposition calculée sur la station et sur les années 2016, 2017 et 2018. Si la concentration X_s du jour est inférieure à X_o, ΔX vaut 0 ce jour-là.

A partir de la fraction attribuable FA_{aggl}, le nombre annuel de passages aux services d'urgence pour asthme chez les moins de 18 ans attribuable aux effets à court terme de l'exposition à la pollution de l'air ambiant - N_{aggl}, évitable pour une baisse de la concentration d'exposition ΔX = X_s – X_o, est calculé sur chaque unité urbaine (agglomérations) sur la période 2016-2018, selon l'équation [3] :

$$N_{aggl} = FA_{aggl} \times T_{dep} \times P_{dep} \times (n_{aggl} \div n_{dep}) \div A \quad [3]$$

où :

- T_{dep} : taux de passages aux urgences pour asthme au département (donnée hebdomadaire OSCOUR® chez les moins de 15 ans)
- P_{dep} : nombre total de passages aux urgences au département (donnée pour des patients de moins de 18 ans - statistique annuelle DREES des établissements de santé - redressée sur la proportion mensuelle du nombre total annuel de passages aux urgences chez les moins de 18 ans – statistique 2016 de ARS IdF)
- n_{aggl} : nombre d'habitants de moins de 18 ans dans l'unité urbaine ou « agglomération » (donnée annuelle, INSEE)
- n_{dep} : nombre d'habitants de moins de 18 ans dans le département (donnée annuelle, INSEE)
- A : nombre d'années sur la période d'étude 2016-2018 (A=3)

Certaines unités urbaines comportent plusieurs départements sur lesquels sont implantées les stations de mesure de la qualité de l'air, comme l'unité urbaine de Paris par exemple. Dans ce cas, N_{aggl} est calculé selon l'équation [4] (et non selon l'équation [3]) afin de considérer les effectifs de population différemment impactés au sein d'une unité urbaine avant de faire la remontée d'échelle des départements à l'unité urbaine :

$$N_{aggl} = \sum_{i=1}^n (FA_{dep} \times T_{dep} \times P_{dep})_i \times (n_{aggl} \div \sum_{i=1}^n (n_{dep})_i) \div A \quad [4]$$

Et FA_{aggl} est alors estimé à l'échelle de l'unité urbaine selon l'équation [5] :

$$FA_{aggl} = \sum_{i=1}^n (FA_{dep} \times T_{dep} \times P_{dep})_i \div \sum_{i=1}^n (T_{dep} \times P_{dep})_i \quad [5]$$

Certaines unités urbaines comportent un seul département mais plusieurs communes sur lesquelles sont implantées les stations de mesure de la qualité de l'air, comme l'unité urbaine de Marseille - Aix-en-Provence par exemple. Dans ce cas, N_{aggl} est calculé selon l'équation [6] afin de considérer les effectifs de population dans les communes – n_{com} différemment impactés au sein du département, avant de faire la remontée d'échelle de la commune au département puis à l'unité urbaine :

$$N_{aggl} = FA_{dep} \times T_{dep} \times P_{dep} \times \frac{\sum_{i=1}^n (n_{com})_i}{n_{dep}} \times (n_{aggl} \div \sum_{i=1}^n (n_{com})_i) \div A \quad [6]$$

Enfin, une unité urbaine (Toulouse) comporte deux stations de mesure de la qualité de l'air localisées sur la même commune (Toulouse). Dans ce cas, N_{aggl} est calculé selon l'équation [7]. Le résultat correspond à la moyenne des nombres de passages aux services d'urgence pour asthme attribuables aux effets de la pollution de l'air sur l'unité urbaine, calculés avec les fractions attribuables obtenues à partir des concentrations mesurées sur chacune des deux stations (FA_{dep_stat1} et FA_{dep_stat2}) :

$$N_{aggl} = (((FA_{dep_stat1} + FA_{dep_stat2}) \div 2) \times T_{dep} \times P_{dep} \times \frac{n_{com}}{n_{dep}}) \times (n_{aggl} \div n_{com}) \div A \quad [7]$$

Les nombres de passages aux services d'urgence pour asthme N_{aggl} calculés sur chaque unité urbaine sont ensuite sommés selon l'équation [8] pour une estimation nationale - N_{France} du nombre moyen annuel de passages attribuables aux effets à court terme de la pollution $PM_{2,5}$:

$$N_{France} = \sum_{i=1}^n (N_{aggl})_i \quad [8]$$

Afin de calculer les taux moyens annuels de passages attribuables aux effets à court terme de la pollution $PM_{2,5}$ sur chaque unité urbaine – T_{aggl} , N_{aggl} est rapporté à l'effectif de la population des moins de 18 ans résidant sur l'unité urbaine POP_{aggl} selon l'équation [9] :

$$T_{aggl} = N_{aggl} \div POP_{aggl} \quad [9]$$

Sur le même principe, le taux moyen annuel de passages attribuables aux effets à court terme de la pollution $PM_{2,5}$ à l'échelle nationale - T_{France} est estimé en rapportant N_{France} à l'effectif de la population des moins de 18 ans résidant sur l'ensemble des unités urbaines incluses selon l'équation [10] :

$$T_{France} = N_{France} \div \sum_{i=1}^n (POP_{aggl})_i \quad [10]$$

L'intervalle de confiance à 95% de N_{France} et N_{aggl} est calculé selon les équations susmentionnées en utilisant les bornes basses et hautes de l'intervalle de confiance à 95 % de β . Il s'agit donc d'une fraction de l'incertitude totale, les autres incertitudes, sur la mesure de l'exposition et sur les nombres de passages aux urgences notamment, n'étant pas quantifiées.

N_{aggl} , N_{France} , T_{aggl} et T_{France} sont calculés :

- sur les jours de dépassements des seuils uniquement, afin de quantifier l'impact des effets à court de la pollution $PM_{2,5}$ durant ces épisodes de pollution ;
- sur la période entière 2016-2018, afin de quantifier l'impact des effets à court de la pollution $PM_{2,5}$ sur une année entière incluant les périodes avec et sans épisodes de pollution

2. Impact des effets à court terme de la pollution $PM_{2,5}$ de l'air ambiant sur les passages aux urgences pour asthme, avec le respect des seuils d'information/recommandation et d'alerte

Afin de calculer l'impact de la pollution $PM_{2,5}$ sous l'hypothèse du respect des seuils, la même approche que celle décrite précédemment est utilisée, en remplaçant la concentration journalière X_s sur les jours de dépassement par la valeur du seuil.

Les concentrations supérieures au seuil d'information/recommandation et inférieures au seuil d'alerte sont remplacées par la valeur du seuil d'information/recommandation proposé.

Les concentrations supérieures au seuil d'alerte sont remplacées par la valeur du seuil d'alerte proposé.

$N_{aggl_{seuil}}$, $N_{France_{seuil}}$, $T_{aggl_{seuil}}$ et $T_{France_{seuil}}$ correspondent alors à des nombres et des taux de passage aux urgences pour asthme chez les moins de 18 ans, attribuables aux effets à court terme de l'exposition à la pollution $PM_{2,5}$ de l'air ambiant, dans une situation théorique de maintien des concentrations $PM_{2,5}$ à un niveau au maximum équivalent aux seuils proposés.

3. Réduction des effets à court terme de la pollution $PM_{2,5}$ de l'air ambiant sur les passages aux urgences pour asthme, attribuable au respect des seuils d'information/recommandation et d'alerte

Les bénéfices sanitaires au niveau des unités urbaines, et au niveau national, sont calculés en faisant la différence en pourcentage entre les nombres de passage (ou taux de passage) calculés à l'étape 1 (avec concentrations mesurées) et ceux calculés à l'étape 2 (avec concentrations en dépassement remplacées par la valeur des seuils).

Il s'agit donc de bénéfices moyens annuels. L'intervalle de confiance associé représente le calcul du bénéfice sanitaire à partir des bornes inférieures et supérieures de l'intervalle de confiance à 95 % de β . Il s'agit donc, comme pour le calcul des nombres/taux de passage, d'une fraction de l'incertitude totale.

Ces bénéfices sont calculés :

- sur les jours de dépassements des seuils uniquement, afin de quantifier les bénéfices durant ces épisodes de pollution ;
- sur la période entière 2016-2018, afin de quantifier les bénéfices sur une année entière incluant les périodes avec et sans épisodes de pollution.

4. Analyses de sensibilité

Les analyses de sensibilité des impacts et bénéfices calculés portent sur deux points particuliers : le choix de la période d'étude et le choix de la période d'exposition précédant l'effet, dont l'impact sur les résultats pourrait être non négligeable.

Compte tenu du choix de la période d'étude qui inclut l'hiver 2016-2017 avec pics de pollution intenses, la première analyse de la sensibilité des résultats est réalisée en excluant les années 2016 et 2017 (en conservant donc l'année 2018).

La seconde analyse de sensibilité porte sur le choix du nombre de jours d'exposition précédant les passages aux urgences pour asthme, à savoir les 5 jours précédant et le jour-même (lag 0-5), ou le jour précédant et le jour-même (lag 0-1), en lien avec les différentes périodes incluses dans les études épidémiologiques à l'origine du méta-risque relatif utilisé (cf p.80).

Les analyses de sensibilité sont réalisées sur l'unité urbaine de Paris pour trois raisons :

- le calendrier de travail ne permet pas de réaliser ces analyses sur l'ensemble des unités urbaines
- cette unité urbaine présente de loin le plus lourd fardeau et bénéfice sanitaire attendu en nombre de cas
- compte tenu de ce lourd fardeau/bénéfice, cette unité urbaine présente des bénéfices moyen proches de ceux calculés à l'échelle nationale

ANNEXE 7 UNITES URBAINES INCLUSES/EXCLUES POUR L'EVALUATION QUANTITATIVE DES BENEFICES SANITAIRES ATTENDUS DU RESPECT DES SEUILS PROPOSES D'INFORMATION/RECOMMANDATION ET D'ALERTE PM_{2,5} SUR LES PASSAGES AUX URGENCES POUR ASTHME CHEZ LES MOINS DE 18 ANS EN FRANCE

Les tableaux 10 et 11 suivants listent les unités urbaines respectivement incluses et exclues de l'évaluation, ainsi que les effectifs de population de moins de 18 ans domiciliés sur ces unités urbaines. Pour rappel, il s'agit des unités urbaines disposant de stations de fond (péri)urbain PM_{2,5} et localisées dans les « zones à risques - agglomération » (ZAG) et les « zone à risques – hors agglomération » (ZAR) du territoire national. Les unités urbaines sont incluses lorsque les données de concentration PM_{2,5} sont disponibles et lorsque le pourcentage de données manquantes (DM) sur 2016, 2017 ou 2018 est inférieur ou égal à 20 %.

Tableau 10 : Unités urbaines incluses

| | Nom ZAS | Type ZAS | Unité urbaine | Population unité urbaine < 18 ans | Données PM _{2,5} disponibles et %DM _{2016, 2017 ou 2018} ≤ 20% |
|--------------------------|--------------------------|----------|-------------------------------|-----------------------------------|--|
| UNITES URBAINES INCLUSES | ZAR ANGERS-LOIRE | ZAR | ANGERS | 48551 | OUI |
| | ZAR PAYS-DE-SAVOIE | ZAR | ANNECY | 36642 | OUI |
| | ZAG AVIGNON | ZAG | AVIGNON | 100146 | OUI |
| | ZAR BESANCON | ZAR | BESANÇON | 25550 | OUI |
| | ZAG BORDEAUX | ZAG | BORDEAUX | 192091 | OUI |
| | ZAR BREST | ZAR | BREST | 39392 | OUI |
| | ZAR CAEN | ZAR | CAEN | 39039 | OUI |
| | ZAR COTE-D-OPALE | ZAR | CALAIS | 23753 | OUI |
| | ZAR PAYS-DE-SAVOIE | ZAR | CHAMBERY | 38484 | OUI |
| | ZAG CLERMONT-FERRAND | ZAG | CLERMONT-FERRAND | 48180 | OUI |
| | ZAR CREIL | ZAR | CREIL | 33874 | OUI |
| | ZAR DIJON | ZAR | DIJON | 45452 | OUI |
| | ZAG BLDV | ZAG | DOUAI - LENS | 122278 | OUI |
| | ZAR COTE-D-OPALE | ZAR | DUNKERQUE | 37465 | OUI |
| | ZAG GRENOBLE | ZAG | GRENOBLE | 92369 | OUI |
| | ZAR LE-HAVRE | ZAR | LE HAVRE | 53108 | OUI |
| | ZAR LE-MANS | ZAR | LE MANS | 46934 | OUI |
| | ZAG LILLE | ZAG | LILLE (PARTIE FRANÇAISE) | 246572 | OUI |
| | ZAR LIMOGES | ZAR | LIMOGES | 34941 | OUI |
| | ZAG LYON | ZAG | LYON | 369307 | OUI |
| | ZAG MARSEILLE-AIX | ZAG | MARSEILLE - AIX-EN-PROVENCE | 341269 | OUI |
| | ZAG METZ | ZAG | METZ | 55485 | OUI |
| | ZAR BELFORT-MONTBELIARD | ZAR | MONTBELIARD | 25359 | OUI |
| | ZAG MONTPELLIER | ZAG | MONTPELLIER | 84707 | OUI |
| | ZAG NANCY | ZAG | NANCY | 52157 | OUI |
| | ZAG NANTES-SAINT-NAZAIRE | ZAG | NANTES | 137161 | OUI |
| | ZAG NICE | ZAG | NICE | 178383 | OUI |
| | ZAR NIMES | ZAR | NIMES | 38660 | OUI |
| | ZAR NIORT | ZAR | NIORT | 14659 | OUI |
| | ZAG ORLEANS | ZAG | ORLEANS | 64509 | OUI |
| | ZAG PARIS | ZAG | PARIS | 2490281 | OUI |
| | ZAR PERPIGNAN | ZAR | PERPIGNAN | 48500 | OUI |
| | ZAR POITIERS | ZAR | POITIERS | 23638 | OUI |
| | ZAR REIMS | ZAR | REIMS | 44088 | OUI |
| | ZAG RENNES | ZAG | RENNES | 69390 | OUI |
| | ZAG ROUEN | ZAG | ROUEN | 98912 | OUI |
| | ZAR SAINT-DENIS | ZAR | SAINT-DENIS | 48094 | OUI |
| | ZAG SAINT-ETIENNE | ZAG | SAINT-ETIENNE | 81882 | OUI |
| | ZAG NANTES-SAINT-NAZAIRE | ZAG | SAINT-NAZAIRE | 36597 | OUI |
| | ZAG STRASBOURG | ZAG | STRASBOURG (PARTIE FRANÇAISE) | 96143 | OUI |
| ZAG TOULON | ZAG | TOULON | 106148 | OUI | |
| ZAG TOULOUSE | ZAG | TOULOUSE | 203869 | OUI | |
| ZAG TOURS | ZAG | TOURS | 71756 | OUI | |
| ZAR VALLEE-DU-RHONE | ZAR | VALENCE | 28545 | OUI | |

Tableau 11 : Unités urbaines exclues

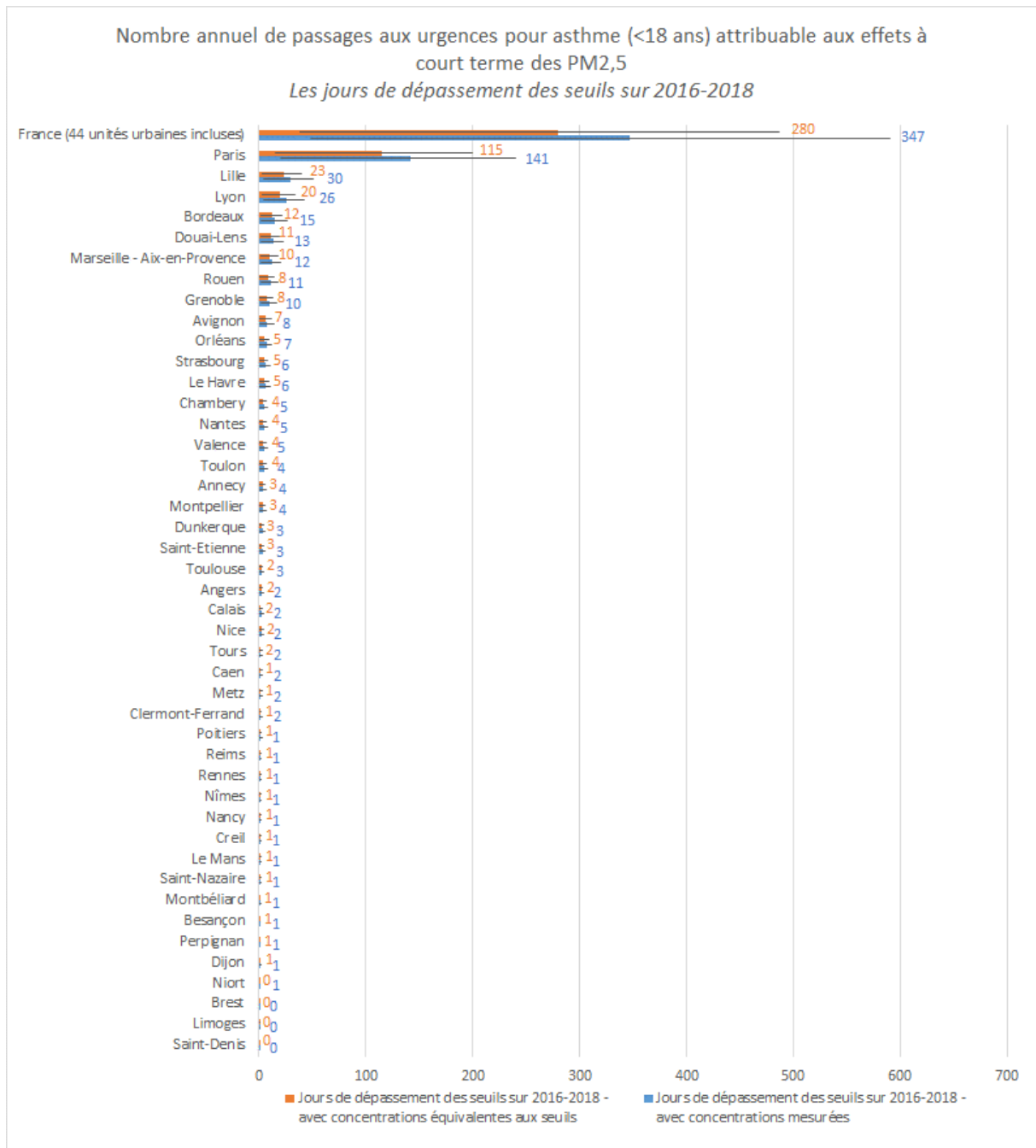
| | Nom ZAS | Type ZAS | Unité urbaine | Population unité urbaine < 18 ans | Données PM2,5 disponibles et %DM _{2016, 2017 ou 2018} ≤ 20% |
|-------------------------|-----------------------------|--------------|---|-----------------------------------|--|
| UNITES URBAINES EXCLUES | ZAR AJACCIO | ZAR | AJACCIO | 15857 | NON |
| | ZAR VALLEE-DE-LA-TARANTAISE | ZAR | ALBERTVILLE | 9273 | NON |
| | ZAR BASTIA | ZAR | BASTIA | 13894 | NON |
| | ZAG BLDV | ZAG | BETHUNE | 84805 | NON |
| | ZAR ILE-DE-CAYENNE | ZAR | CAYENNE | 39268 | NON |
| | ZAR FORT-DE-FRANCE | ZAR | FORT-DE-FRANCE | 24830 | NON |
| | ZAR FREJUS-DRAGUIGNAN | ZAR | FREJUS | 16158 | NON |
| | ZAR PAYS-DE-SAVOIE | ZAR | GENEVE (SUI) - ANNEMASSE (PARTIE FRANÇAISE) | 44283 | NON |
| | ZAR FORT-DE-FRANCE | ZAR | LE LAMENTIN | 10114 | NON |
| | ZAR FORT-DE-FRANCE | ZAR | LE ROBERT | 27986 | NON |
| | ZAR MOULINS | ZAR | MOULINS | 7972 | NON |
| | ZAG POINTE-A-PITRE | ZAG | POINTE-A-PITRE - LES ABYMES | 60972 | NON |
| | ZAR VALLEE-DU-RHONE | ZAR | ROMANS-SUR-ISERE | 12520 | NON |
| | ZAR VOLCAN | ZAR | SAINT-JOSEPH | 14622 | NON |
| | ZAR SAINT-DENIS | ZAR | SAINT-PAUL | 48121 | NON |
| ZAR VOLCAN | ZAR | SAINT-PIERRE | 47322 | NON | |
| ZAR VALLEE-DE-L-ARVE | ZAR | SALLANCHES | 10208 | NON | |

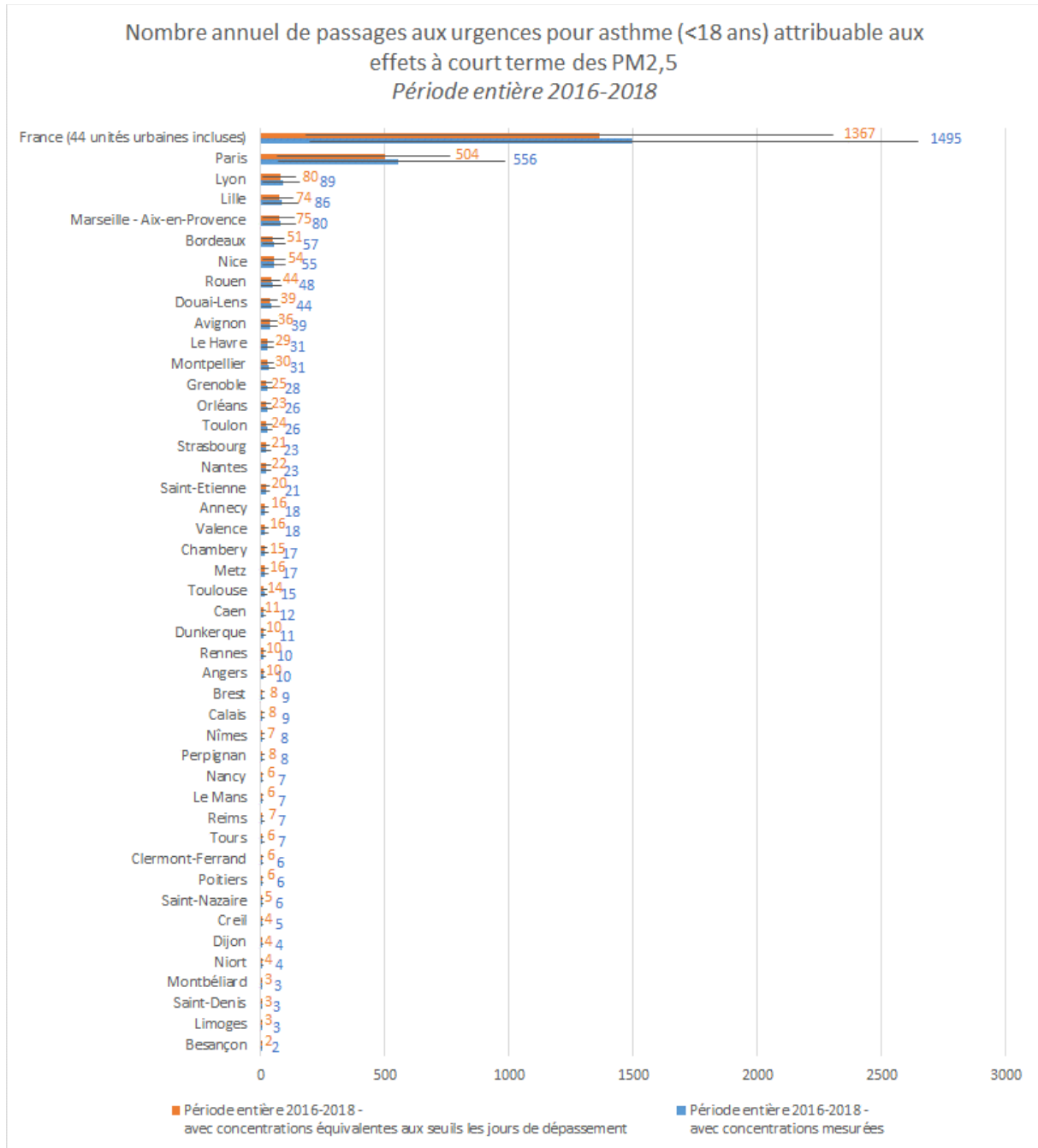
ANNEXE 8 IMPACTS SANITAIRES ET BENEFICES ATTENDUS DU RESPECT DES SEUILS PROPOSES D'INFORMATION/RECOMMANDATION ET D'ALERTE PM_{2,5} SUR LES PASSAGES AUX URGENCES POUR ASTHME CHEZ LES MOINS DE 18 ANS EN FRANCE

Les cinq histogrammes suivants présentent, pour la France (somme des 44 unités urbaines incluses) et pour chacune des 44 unités urbaines par ordre décroissant, respectivement :

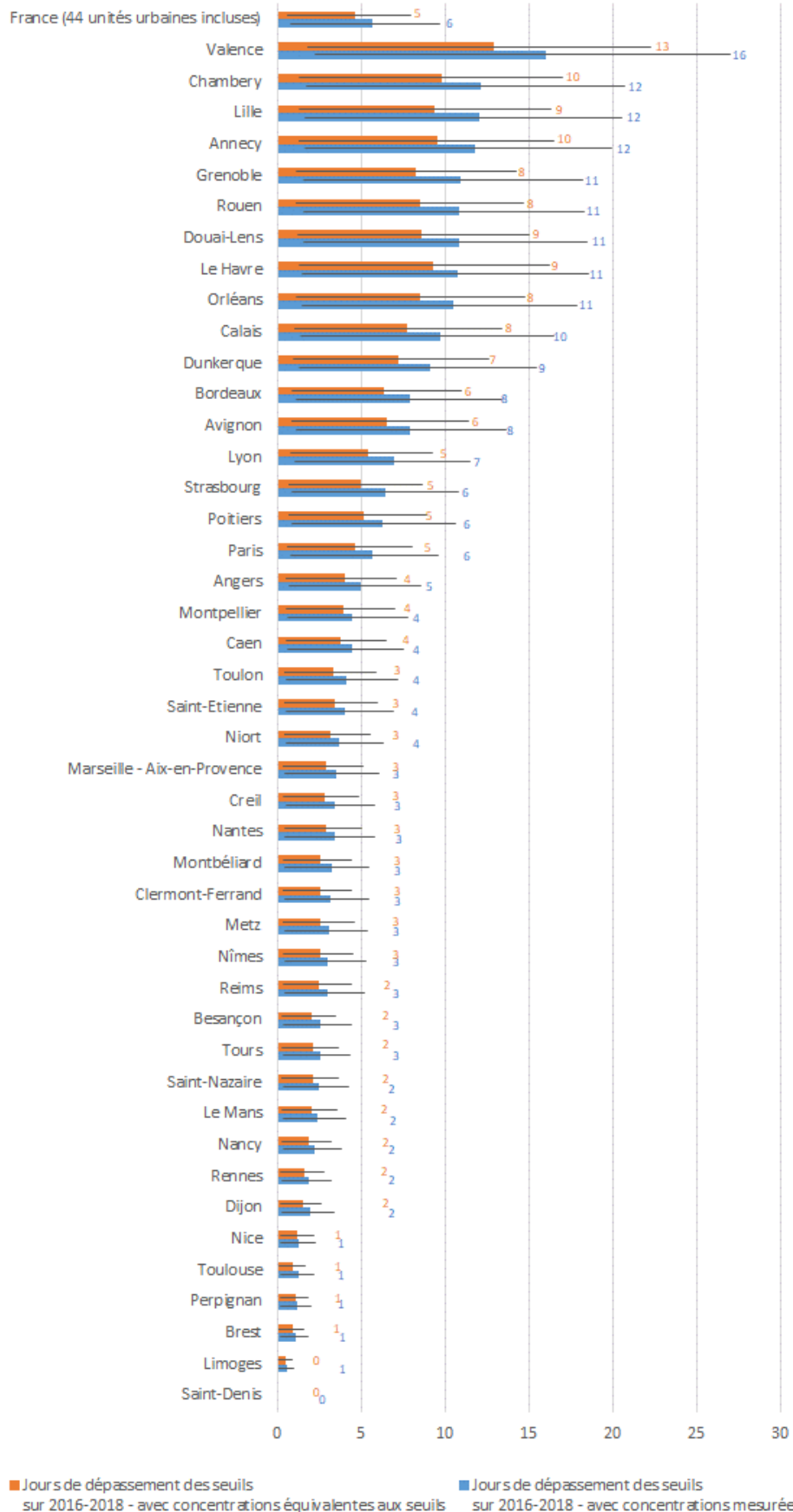
- le nombre annuel de passages aux urgences pour asthme (<18 ans) attribuable aux effets à court terme des PM_{2,5} sur les jours de dépassement des seuils de la période 2016-2018
- le nombre annuel de passages aux urgences pour asthme (<18 ans) attribuable aux effets à court terme des PM_{2,5} sur la période entière 2016-2018
- le nombre annuel pour 100000 habitants de passages aux urgences pour asthme (<18 ans) attribuable aux effets à court terme des PM_{2,5} sur les jours de dépassement des seuils de la période 2016-2018
- le nombre annuel pour 100000 habitants de passages aux urgences pour asthme (<18 ans) attribuable aux effets à court terme des PM_{2,5} sur la période entière 2016-2018
- l'évolution du nombre annuel de passages aux urgences pour asthme (<18 ans) attribuable aux effets à court terme des PM_{2,5}, avec vs sans respect des seuils proposés d'information/recommandation et d'alerte

Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance associé au calcul de l'impact ou bénéfice sanitaire à partir des bornes inférieures et supérieures de l'intervalle de confiance à 95 % du facteur de pente β obtenu à partir du risque relatif retenu (cf p.80).

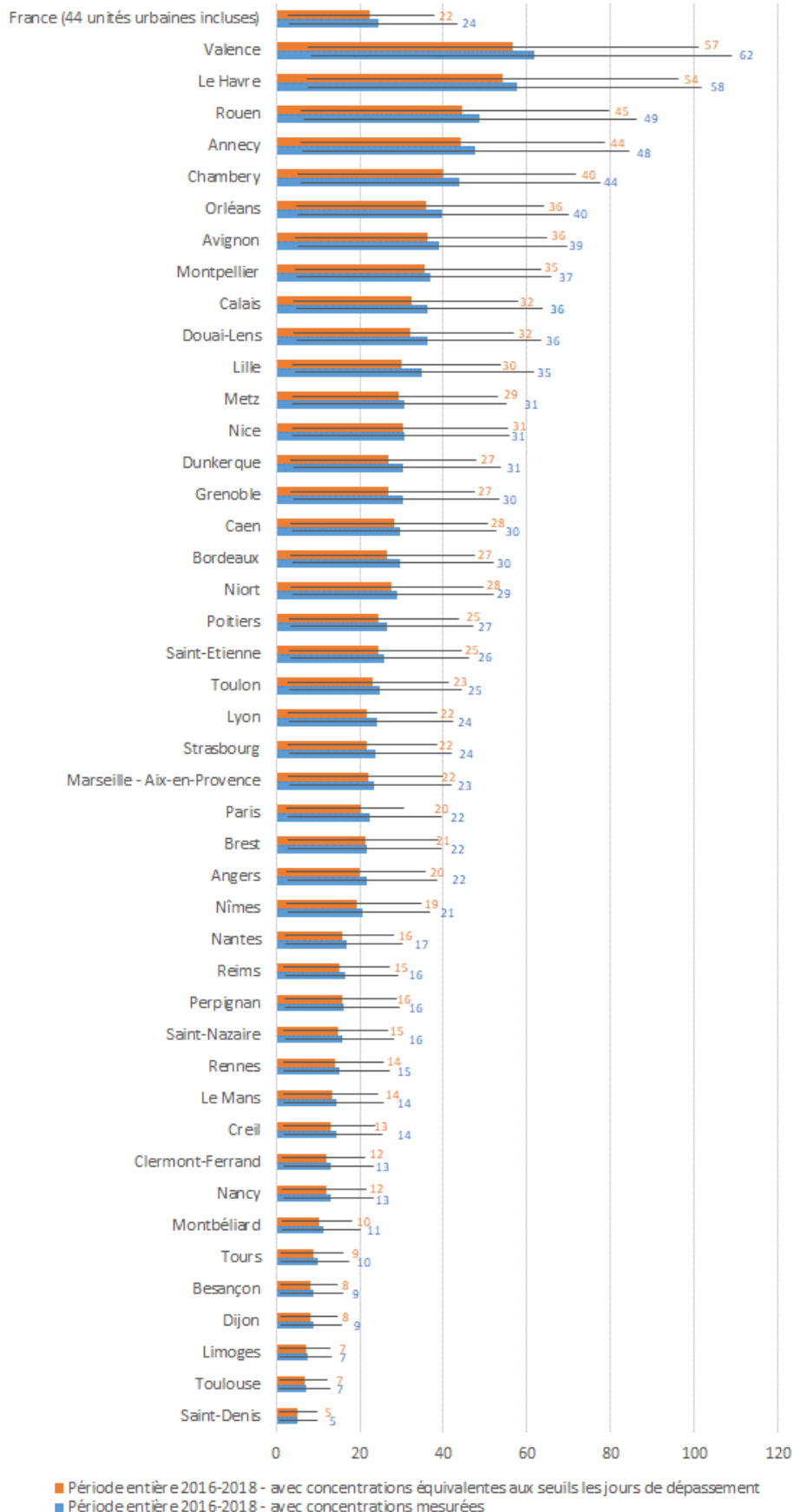


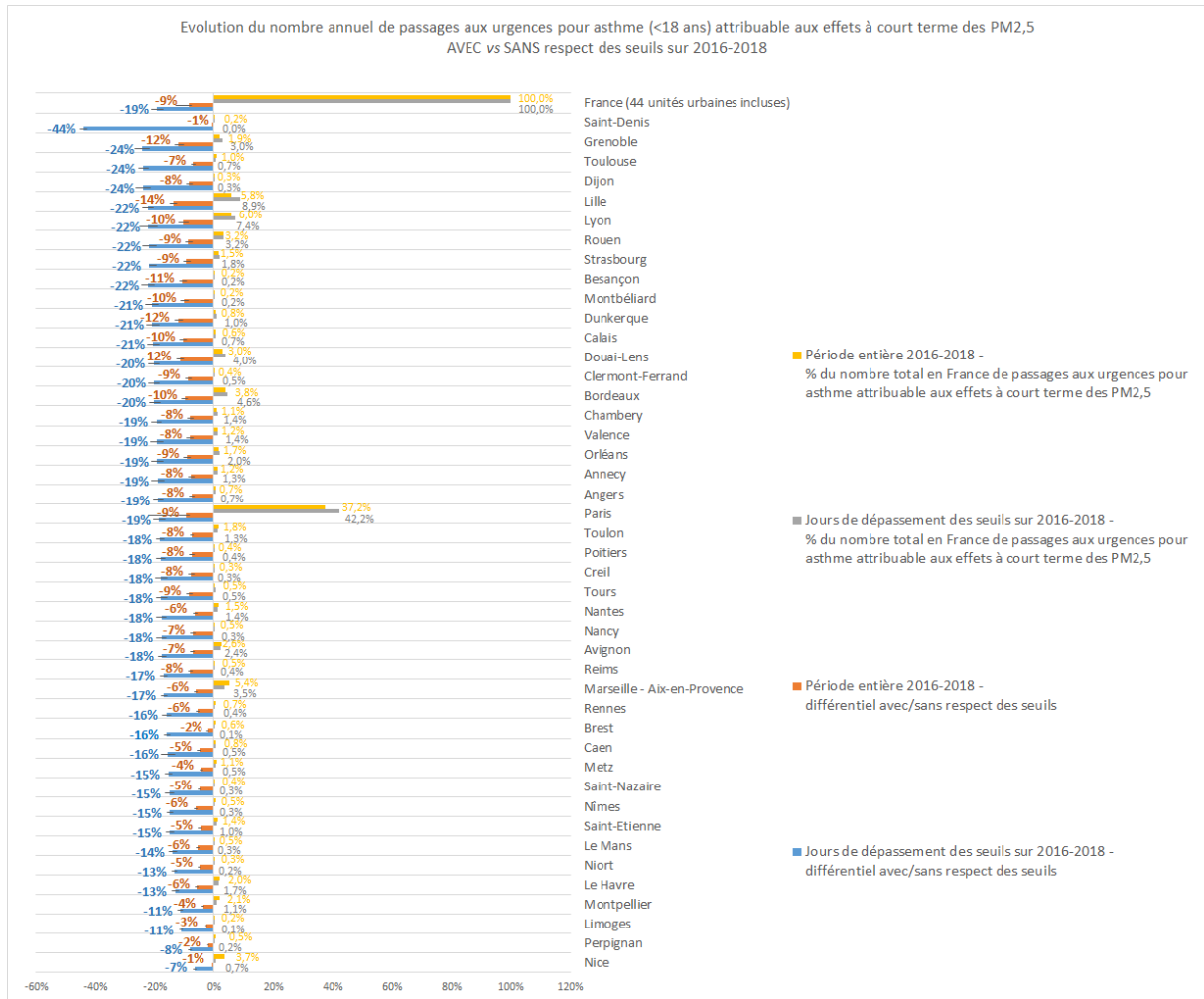


Nombre annuel de passages aux urgences pour asthme (<18 ans)
attribuable aux effets à court terme des PM_{2,5} /100 000 habitants
Les jours de dépassement des seuils sur 2016-2018



Nombre annuel de passages aux urgences pour asthme (<18 ans)
attribuable aux effets à court terme des PM2,5 /100 000 habitants
Période entière 2016-2018





ANNEXE 9 ANALYSES DE SENSIBILITE DES RESULTATS DE L'EVALUATION DES IMPACTS SANITAIRES ET BENEFICES ATTENDUS DU RESPECT DES SEUILS PROPOSES D'INFORMATION/RECOMMANDATION ET D'ALERTE PM_{2,5} SUR LES PASSAGES AUX URGENCES POUR ASTHME CHEZ LES MOINS DE 18 ANS SUR L'UNITE URBAINE DE PARIS

La sensibilité des résultats obtenus sur l'unité urbaine de Paris au choix du nombre de jours d'exposition précédant les passages aux urgences pour asthme (lag 0-5 vs lag 0-1) et au choix de la période d'étude (avec vs sans hiver 2016-2017) est présentée dans le Tableau 12 ci-dessous.

Tableau 12 : Résultats des analyses de sensibilité (*en italique*)

| Stations FR04002, FR04156, FR04143, FR04034 Unité urbaine de Paris | | Jours de dépassement des seuils | | | Période entière | | |
|---|------------------------------|---------------------------------|-------------------------|--------------|------------------------------|-------------------------|--------------|
| | | avec concentrations mesurées | avec respect des seuils | Différentiel | avec concentrations mesurées | avec respect des seuils | Différentiel |
| Nombre annuel de passages aux urgences pour asthme attribuable aux effets à court terme de la pollution PM _{2,5} moy (IC95%) | <i>2016-2018 Lag 0-5</i> | 141 (20-240) | 115 (16-199) | -19% | 556 (75-981) | 504 (67-762) | -9% |
| | <i>2016-2018 Lag 0-1</i> | 201 (29-333) | 162 (23-275) | -20% | 640 (88-1117) | 591 (80-883) | -8% |
| | <i>2018 Lag 0-5</i> | 80 (11-150) | 69 (9-130) | -14% | 486 (65-869) | 450 (60-683) | -7% |

ANNEXE 10 SOURCES D'INCERTITUDES DE L'ÉVALUATION DES IMPACTS SANITAIRES ET BÉNÉFICES ATTENDUS DU RESPECT DES SEUILS PROPOSÉS D'INFORMATION/RECOMMANDATION ET D'ALERTE PM_{2,5} SUR LES PASSAGES AUX URGENCES POUR ASTHME CHEZ LES MOINS DE 18 ANS EN FRANCE

Le tableau ci-dessous caractérise les principales sources d'incertitudes identifiées dans le cadre de la présente évaluation.

| Origine (niveau 1 de la classification) | Origine (niveau 2 de la classification) | Description (ce qui a induit l'incertitude) | Prise en compte | Impact de l'incertitude résiduelle sur le résultat de l'expertise | | Commentaire |
|--|--|---|-----------------|---|------------|---|
| | | | | Direction | Amplitude | |
| Contexte | Reformulation de la question | Polluants et indicateurs de santé autres que PM _{2,5} et passages aux services d'urgence pour asthme chez les moins de 18 ans ne sont pas inclus | non | Sous-estimation | Forte | PM _{2,5} , NO ₂ et O ₃ : données sur les indicateurs sanitaires non accessibles dans le délai imparti (sauf passages aux urgences pour asthme pour PM _{2,5} et NO ₂) NO ₂ : pertinence discutable de réaliser l'exercice (NO ₂ souvent associé aux PM _{2,5} , différenciation complexe de leurs impacts sur la santé) NO ₂ et O ₃ : pas de concordance entre les pas de temps des seuils d'information/recommandation et d'alerte et ceux associés aux RR PM ₁₀ : pas de modification proposée du seuil d'information/recommandation PM _{2,5} : les passages aux urgences pour asthme chez les moins de 18 ans apparaissent comme l'indicateur le plus sensible (RR le plus élevé) |
| Contexte | Cadrage | Evaluations quantitatives d'impact sanitaire supposent une relation de cause à effet et des effets indépendants entre polluants | Sans objet | Sans objet | Sans objet | Indicateur de santé (passages aux urgences pour asthme) avec une forte plausibilité de causalité Une seul polluant investigué |
| Méthodologie | Sélection des données d'entrée | Zones régionales (ZR) non incluses, seules les zones à risque agglomération (ZAG) et les zones à risque hors | non | Sous-estimation | Faible | Les unités urbaines dans les ZAG et ZAR incluent les zones qui sont principalement concernées par des dépassements des seuils PM _{2,5} sur le territoire national. |

| Origine (niveau 1 de la classification) | Origine (niveau 2 de la classification) | Description (ce qui a induit l'incertitude) | Prise en compte | Impact de l'incertitude résiduelle sur le résultat de l'expertise | | Commentaire |
|--|--|--|-----------------|---|-----------------|---|
| | | | | Direction | Amplitude | |
| | | agglomération (ZAR) sont incluses | | | | |
| Méthodologie | Sélection des données d'entrée | Plusieurs unités urbaines sur les ZAG et ZAR ne disposent pas de stations PM2,5 ou les données sont manquantes | non | Sous-estimation | Faible | La population d'étude comprend 93 % de la population résidant sur les unités urbaines des ZAG et ZAR et disposant d'au moins une station de fond (péri)urbain mesurant les PM2,5, et 87 % de la population résidant sur les unités urbaines des ZAG et ZAR et disposant d'au moins une station de surveillance de la qualité de l'air. |
| Méthodologie | Sélection des données d'entrée | Population non résidente dans les unités urbaines non comptabilisée | non | Sous-estimation | Non qualifiable | Unités urbaines sont des pôles d'attractivité de la population non résidente. Influence de la population non résidente non investiguée. |
| Méthodologie | Sélection des données d'entrée | Evaluation limitée à l'impact des PM2,5 sur les passages aux urgences pour asthme | non | Sous-estimation | Forte | Impact sur les effets à long terme des PM2,5 non inclus D'autres effets à court terme des PM2,5 non inclus (notamment hospitalisations cardiovasculaires et mortalité dont les méta-RR sont moins sensibles mais plus robustes) Historiquement, pas de réduction observée de la mortalité en Ile-de-France lors de la première mise en œuvre des seuils en 2008 avec des seuils PM10 initiaux (80 µg/m3) ; Mais, lors de l'évaluation de la réduction drastique des seuils révisés en 2011 (50 µg/ m3), une réduction de la mortalité cardiovasculaire, et aucun changement détecté sur la mortalité respiratoire (Alari <i>et al.</i> 2021). |
| Méthodologie | Qualité des données d'entrée | Données manquantes sur les taux de passages aux services d'urgence pour asthme et sur le nombre total de passages aux services d'urgence | oui | Non qualifiable | Faible | Taux de données manquantes sur le taux hebdomadaire de passages aux services d'urgence pour asthme : nul ou quasi nul pour l'ensemble des départements, à l'exception de l'Oise (58 %, unité urbaine de Creil), de la Savoie (5 %, unité urbaine de Chambéry) et du Doubs (3%, unités urbaines de Besançon et Montbéliard). Taux hebdomadaires au département manquants remplacés par les taux hebdomadaires à la région. |

| Origine (niveau 1 de la classification) | Origine (niveau 2 de la classification) | Description (ce qui a induit l'incertitude) | Prise en compte | Impact de l'incertitude résiduelle sur le résultat de l'expertise | | Commentaire |
|--|--|---|-----------------|---|-----------------|--|
| | | | | Direction | Amplitude | |
| | | | | | | Taux de données manquantes sur le nombre total annuel de passages aux services d'urgence : nul pour l'ensemble des départements. |
| Méthodologie | Qualité des données d'entrée | Biais d'enregistrement et de codage diagnostic des passages aux urgences pour asthme | non | Sous-estimation | Modérée | Taux d'enregistrement et de codage diagnostic spécifiques à l'asthme non disponibles. Sur les passages aux urgences en général, environ 90% des passages aux urgences enregistrés au niveau national, et des taux de codage diagnostic variables selon les départements, qui se situeraient le plus souvent à 70-85% sauf dans certains départements comme Paris (~60%). Le biais d'information lié à un enregistrement et codage diagnostic imparfait impacte également le méta-RR utilisé. |
| Méthodologie | Qualité des données d'entrée | Biais du diagnostic médical de l'asthme chez l'enfant dans les services d'urgences | non | Non qualifiable | Non qualifiable | Il existe un biais diagnostic lié à la difficulté de distinguer différentes affections des voies respiratoires inférieures (asthme, bronchite et bronchiolite) dans le cadre des recours aux services d'urgence, en particulier chez les nourrissons de moins de 2 ans. |
| Méthodologie | Qualité des données d'entrée | Taux hebdomadaire de passage aux services d'urgence pour asthme pour 10000 passages aux urgences avec un diagnostic médical renseigné, disponible chez les moins de 15 ans et non chez les moins de 18 ans (population d'étude) | non | Non qualifiable | Faible | La différence entre les taux de passage aux services d'urgence pour asthme chez les moins de 15 ans et les moins de 18 ans est probablement négligeable. A titre indicatif, le taux de prévalence de l'asthme en France en 2016-2018 des moins de 15 ans et des moins de 20 ans seraient respectivement de 4,4 % et 4,9 % d'après les données de la Global Burden of Disease Study 2019 (GBD 2019). Concernant les taux de passages aux urgences pour asthme, la différence entre les moins de 15 ans et les moins de 18 ans serait probablement moins grande car ces passages aux urgences sont probablement plus fréquents chez les enfants en bas âge comparé aux enfants âgés de 16 à 17 ans.(GBD 2019) |

| Origine (niveau 1 de la classification) | Origine (niveau 2 de la classification) | Description (ce qui a induit l'incertitude) | Prise en compte | Impact de l'incertitude résiduelle sur le résultat de l'expertise | | Commentaire |
|--|--|--|---------------------|---|-----------|--|
| | | | | Direction | Amplitude | |
| Méthodologie | Exploitation des données d'entrée | Suppose que le nombre de passages aux urgences dans une unité urbaine est corrélé à celui du (des) département(s) situé(s) sur l'unité urbaine, en fonction des nombres d'habitants dans le (les) département(s) et dans l'unité urbaine | Sans objet | Non qualifiable | Faible | Les unités urbaines concentrent à la fois les centres de passages aux services d'urgence et la population résidant dans le(s) département(s) . |
| Méthodologie | Exploitation des données d'entrée | Nombres journaliers de passages aux urgences pour asthme estimés à partir du produit des taux hebdomadaires de passages pour asthme rapporté au nombre total de passages aux urgences et du nombre total annuel de passages aux urgences supposé constant sur une année. | oui (partiellement) | Non qualifiable | Faible | <p>Suppose un taux journalier de passages aux urgences pour asthme équivalent au taux hebdomadaire. Cette hypothèse sous-estime la variation inter-journalière de ce taux.</p> <p>Nombre total de passages aux urgences chez les moins de 18 ans relativement constant sur l'année sauf en juillet et août où il diminue sensiblement.</p> <p>Redressement du nombre total annuel de passages aux urgences chez les moins de 18 ans sur la proportion mensuelle du nombre total annuel de passages aux urgences chez les moins de 18 ans. Données disponibles sur la proportion mensuelle sont uniquement franciliennes.</p> <p>L'impact sur les résultats de l'expertise exprimés à l'échelle d'une moyenne annuelle de passages aux urgences pour asthme est vraisemblablement faible.</p> |

| Origine (niveau 1 de la classification) | Origine (niveau 2 de la classification) | Description (ce qui a induit l'incertitude) | Prise en compte | Impact de l'incertitude résiduelle sur le résultat de l'expertise | | Commentaire |
|--|--|--|-----------------|---|-----------------|---|
| | | | | Direction | Amplitude | |
| Méthodologie | Exploitation des données d'entrée | Approche suppose que la variation de la concentration mesurée sur une station de fond est représentative de la variation de l'exposition de la population résidant sur l'unité urbaine, sur le département ou sur la commune d'implantation de la station selon la configuration de l'unité urbaine. | non | Non_qualifiable | Faible | <p>Dans le cadre d'une EQIS à l'échelle locale, il conviendrait également de prendre en compte la zone d'influence de la station selon la direction et la vitesse des vents et la localisation des principaux services d'urgence. Dans le cadre de la présente EQIS à l'échelle nationale, ce biais est toutefois probablement lissé par les remontées d'échelle réalisées des communes, aux unités urbaines jusqu'à l'échelon national.</p> <p>La présente EQIS fournit des estimations à l'échelle des unités urbaines et à l'échelle nationale à partir des bases de données métrologiques, sanitaires et démographiques disponibles. Elle ne peut se substituer à des évaluations à visée locale plus précises qui permettraient d'intégrer des données de santé et d'exposition avec des résolutions spatiales plus fines.</p> |
| Méthodologie | Qualité des données d'entrée | Ne prend pas en compte la proximité aux sources de pollution comme le trafic routier. | non | Sous-estimation | Non qualifiable | <p>L'utilisation de la mesure à la station de fond (péri)urbain ne permet pas de prendre en compte les niveaux d'exposition plus importants en proximité des sources de pollution. Cette approche est toutefois cohérente avec la méthode d'évaluation du dépassement des seuils et avec la méthode d'évaluation de l'exposition dans les études épidémiologiques à l'origine du méta-RR utilisé.</p> <p>Dans l'absolu, cette approche, inhérente aux données épidémiologiques disponibles et à la méthode d'EQIS à utiliser en conséquence, sous-estime les impacts et bénéfices sanitaires pour les populations exposées en proximité des sources de pollution.</p> |

| Origine (niveau 1 de la classification) | Origine (niveau 2 de la classification) | Description (ce qui a induit l'incertitude) | Prise en compte | Impact de l'incertitude résiduelle sur le résultat de l'expertise | | Commentaire |
|--|--|--|---------------------|---|-----------|--|
| | | | | Direction | Amplitude | |
| Méthodologie | Qualité des données d'entrée | Données manquantes de concentration journalière en PM2,5 | oui | Non qualifiable | Faible | Taux de données manquantes \leq 8 % sur la plupart des stations, taux maximal de données manquantes de 12 % sur une station. Données manquantes remplacées par la concentration moyenne journalière sur la saison (été/hiver) mesurée sur la station. 7 stations-années exclues sur les 183 (car taux de données manquantes > 20 % ou données non disponibles). |
| Méthodologie | Qualité des données d'entrée | Le méta-RR inclut des études avec différents nombres de jours d'exposition précédant les passages aux urgences pour asthme (cf Tableau 8). Evaluation réalisée avec la concentration moyenne journalière des 5 jours précédant l'effet et du jour-même (lag0-5). Analyse de sensibilité avec lag0-1.: Caractéristiques des études incluses dans le RR recommandé par Santé Publique France (SpFrance 2019b) pour PM2,5 et passages aux urgences pour asthme (J45- J46) chez 0-17 ans (adapté de Host S. (2018)) | oui (partiellement) | Non qualifiable | Faible | Légère augmentation de l'estimation du nombre de passages aux urgences pour asthme avec lag0-1 comparé à lag0-5, et pas de différence majeure sur le bénéfice apporté par le respect des seuils (-20 % au lieu de -19 % sur les jours de dépassement ; -8 % au lieu de -9 % sur l'année entière) (cf Tableau 12). |

| Origine (niveau 1 de la classification) | Origine (niveau 2 de la classification) | Description (ce qui a induit l'incertitude) | Prise en compte | Impact de l'incertitude résiduelle sur le résultat de l'expertise | | Commentaire |
|--|--|--|-----------------|---|-----------|--|
| | | | | Direction | Amplitude | |
| Méthodologie | Exploitation des données d'entrée | Incertitudes sur la valeur du méta-RR utilisé. | oui | Sans objet | Forte | Les intervalles de confiance (IC) sur les nombres de passages aux urgences pour asthme attribuables aux effets à court terme des PM2,5 (cf Annexe 8) illustrent l'impact de l'incertitude concernant le méta-RR sur le résultat, soit 1495 (IC=201;2643) passages/an aux urgences pour asthme chez les moins de 18 ans dans les 44 unités urbaines incluses. En termes de bénéfices sanitaires en %, cette incertitude est logiquement beaucoup moins marquée : -9 % (IC=-13 %;-10 %) sur 2016-2018 et -19 % (IC=-21 %;-17 %) sur les jours de dépassement de 2016-2018. Ces intervalles sont calculés en utilisant les bornes basses et hautes de l'intervalle de confiance à 95 % du méta-RR. Il s'agit donc d'une fraction de l'incertitude totale, les autres incertitudes, sur la mesure de l'exposition et sur les nombres de passages aux urgences notamment, n'étant pas quantifiées. |
| Méthodologie | Sélection des données d'entrée | Hiver 2016-2017 avec pics de particules observés particulièrement intenses, qui ont pu avoir un impact sur la fréquentation des services d'urgence et sur les dépassements des seuils PM2,5 proposés, par rapport à un hiver avec des niveaux de pollution plus habituels. | oui | Surestimation | Modérée | L'analyse de sensibilité des résultats sur l'unité urbaine de Paris, excluant les années 2016 et 2017 pour s'affranchir de l'hiver 2016-2017, montre une diminution de l'estimation du nombre annuel de passages aux urgences pour asthme attribuable aux effets à court terme de la pollution PM2,5 (80 vs 141 sur les jours de dépassement, 486 vs 556 sur l'année entière), et une légère diminution du bénéfice apporté par le respect des seuils (-14 % au lieu de -19 % sur les jours de dépassement ; -7 % au lieu de -9 % sur l'année entière) (cf Tableau 12). |

Le tableau ci-dessus a été renseigné en suivant le format ci-dessous. Ce format a été adapté à la marge de la version bêta de mai 2020 du format de tableau des incertitudes du GT interne ACCMER « Accompagnement de la mise en œuvre des recommandations du GT MER – Méthodologie d'Evaluation des Risques ».

| Origine (niveau 1 de la classification) | Origine (niveau 2 de la classification) | Description (ce qui a induit l'incertitude) | Prise en compte | Impact de l'incertitude résiduelle sur le résultat de l'expertise | | Commentaire |
|--|--|--|---------------------|---|-----------------|--------------------|
| | | | | Direction | Amplitude | |
| Contexte | Cadrage | <i>Texte libre</i> | oui | Sous-estimation | Faible | <i>Texte libre</i> |
| | Reformulation de la question | | oui (partiellement) | Surestimation | Modérée | |
| Méthodologie | Sélection des données d'entrée | | non | Sans objet | Forte | |
| | Qualité des données d'entrée | | sans objet | Non qualifiable | Non qualifiable | |
| | Exploitation des données d'entrée | | | | Sans objet | |

