



anses

# Pollution de l'air par le trafic routier

## Exposition et risque sanitaire chez les travailleurs

Avis de l'Anses

Rapport d'expertise collective

Octobre 2024



Connaître, évaluer, protéger



Le directeur général

Maisons-Alfort, le 1<sup>er</sup> octobre 2024

## **AVIS**

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

**relatif à « l'exposition des travailleurs à la pollution de l'air à proximité du trafic routier et ses conséquences sur leur santé »**

---

*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 5 février 2021 par le secrétariat général de la direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM) et la direction générale du travail (DGT) pour la réalisation de l'expertise suivante : « évaluation de l'exposition des travailleurs à la pollution de l'air à proximité du trafic routier et ses conséquences pour leur santé ».

#### **1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE**

L'impact sanitaire de la pollution atmosphérique, notamment celle issue du trafic routier, n'est plus à démontrer. L'exposition des travailleurs qui exercent leurs activités professionnelles sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier, et les risques associés sur leur santé, constituent une préoccupation en santé au travail. Les travailleurs des secteurs privé et public, quel que soit leur statut, travaillant régulièrement à proximité du trafic routier (personnels d'exploitation, agents en charge du contrôle des transports routiers, etc.) sont concernés.

Dans ce contexte, l'Anses a été saisie le 5 février 2021 par le secrétariat général de la direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM) et la direction générale du travail (DGT) pour répondre aux questions suivantes :

- « Établir si un excès de risque supplémentaire lié à l'exposition au trafic routier pour les travailleurs est possible par rapport à la population générale et, dans un tel cas, identifier les déterminants de l'exposition associés et leurs importances relatives, en particulier les fréquence et durée de présence sur le réseau routier ou la typologie des lieux de travail (gares routières et entrepôts, tunnels, réseau à fort trafic, etc.). »

- « Si certains polluants sont générés à la fois par le trafic routier et par l'activité des travailleurs, estimer la contribution de chacune des sources. »
- « Identifier plus spécifiquement des indicateurs pertinents à surveiller en lien avec le trafic routier, afin de faciliter l'évaluation de ces risques pour les travailleurs. Une mise en perspective des méthodes de mesure existantes des différents polluants identifiés et les recommandations pour leur mise en œuvre en fonction des contextes est également attendue. »

## 2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

L'expertise relève du domaine de compétences du comité(s) d'experts spécialisé(s) (CES) « Évaluation des risques liés aux milieux aériens ». L'Anses a confié l'expertise au groupe de travail (GT) « travailleurs et trafic routier ». Les travaux ont été présentés au CES tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques entre le 20 mai 2021 et le 5 juillet 2024. Ils ont été adoptés par le CES « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » réuni le 5 juillet 2024.

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. La saisine n°2021-SA-0039 fait apparaître un lien d'intérêt induisant un risque potentiel de conflit pour un expert du CES. De ce fait, cet expert n'a pas participé à l'examen des travaux découlant de la saisine. Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet : <https://dpi.sante.gouv.fr/>.

Pour répondre aux questions posées, une organisation reprenant les étapes de la démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires, précédés par une étape de contextualisation, a été mise en œuvre par le GT. A ces axes s'ajoute une discussion des résultats, apportant notamment des éléments de réponse à la troisième question posée. La deuxième question relative à l'évaluation de la contribution de chacune des sources lorsque les polluants sont générés à la fois par le trafic et par l'activité des travailleurs n'a pas été traitée dans la présente expertise considérant qu'il s'agit d'une question complexe qui nécessite encore l'acquisition de données et la définition de méthodes pour distinguer ces sources.

Les travaux d'expertise s'appuient sur une synthèse et une analyse des données disponibles répondant aux questions identifiées par axe de travail (Figure 1).

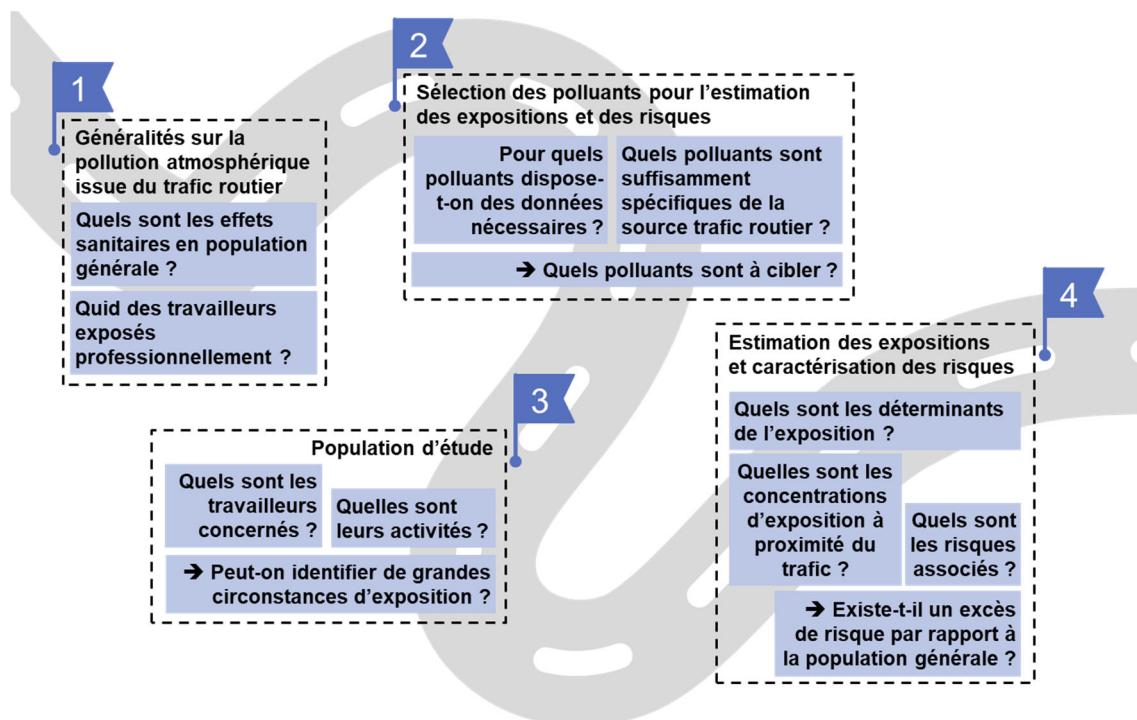


Figure 1. Schéma conceptuel des axes de travail de l'expertise

### 3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES ET DU GT

#### 3.1. Généralités sur la pollution atmosphérique issue du trafic routier

La pollution atmosphérique étant un facteur de risques d'origine environnementale, elle est encore insuffisamment prise en compte dans l'inventaire et l'évaluation des expositions liées aux activités professionnelles. Elle n'en demeure pas moins une problématique que l'employeur, avec l'appui des services de prévention et de santé au travail, doit intégrer dans son plan d'actions, comme il doit le faire pour tout risque environnemental (par exemple : radon, rayonnements ultraviolets solaires et bruit) quelle qu'en soit la source.

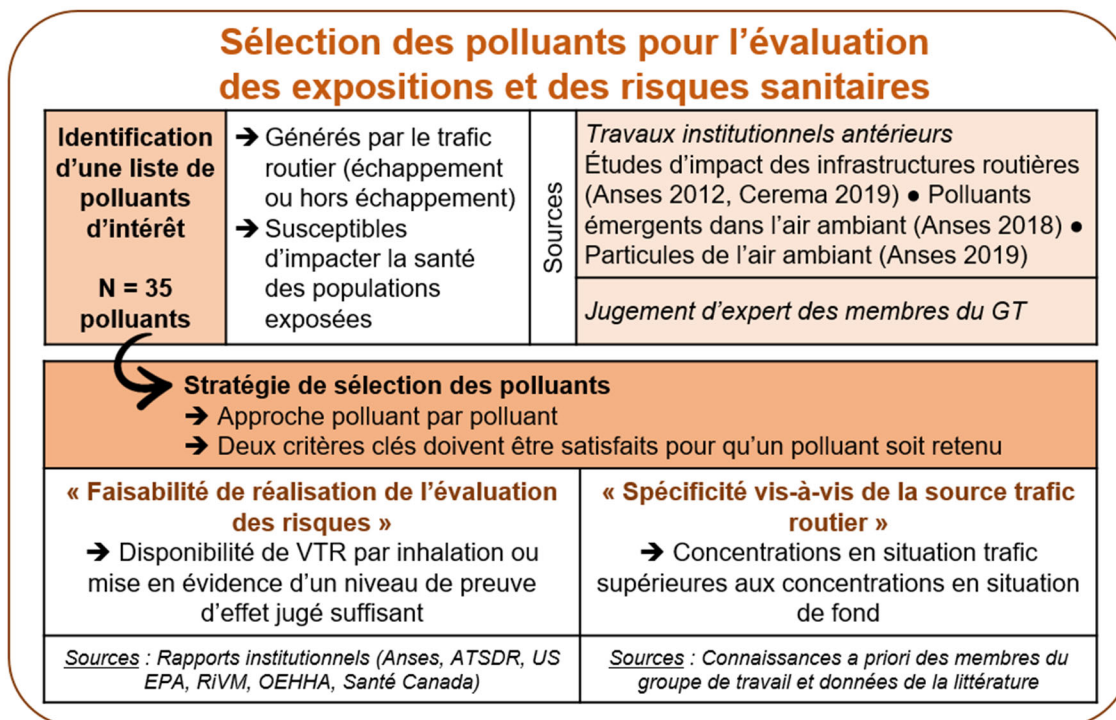
#### 3.2. Polluants retenus en vue d'une évaluation des risques

Trente-cinq polluants ont été identifiés comme d'intérêt dans le cadre de la présente expertise. Il s'agit de polluants générés par le trafic routier, à l'échappement ou hors échappement, et susceptibles d'impacter la santé des populations. L'identification de ces polluants est fondée sur l'analyse de travaux institutionnels antérieurs et sur le jugement d'expert des membres du GT en s'appuyant sur la littérature scientifique et technique (Figure 2).

Au sein de cette liste de polluants d'intérêt, les polluants les plus spécifiques de la source « trafic routier » et pour lesquels une évaluation des risques sanitaires a été considérée faisable ont été sélectionnés pour la suite de la démarche (Figure 2). La capacité à mesurer les polluants n'a pas été considérée dans la stratégie de sélection mais les méthodes de prélèvement et d'analyse ont été recensées<sup>1</sup> afin d'appuyer le choix des indicateurs pertinents à surveiller pour faciliter l'évaluation des risques pour les travailleurs.

<sup>1</sup> Ce recensement est disponible dans le rapport d'expertise collective associé au présent avis.





ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry ; Cerema : Centre d'études et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement. ; OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment (Californie, Etats-Unis) ; RIVM : Dutch National Institute for Public Health and the Environment (Pays-Bas) ; VTR : valeur toxicologique de référence ; US EPA : United States Environment Protection Agency (Etats-Unis). En l'absence de VTR, les valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé ont été considérées.

Figure 2. Méthode de sélection des polluants en vue de l'évaluation des expositions et des risques sanitaires

Vingt-quatre polluants ont ainsi été sélectionnés (Figure 3). Cette sélection ne remet pas en cause les conclusions des précédents travaux sur les enjeux sanitaires associés aux polluants non retenus ainsi que les recommandations formulées, notamment celles qui visent à réduire au maximum les émissions et expositions à ces polluants.

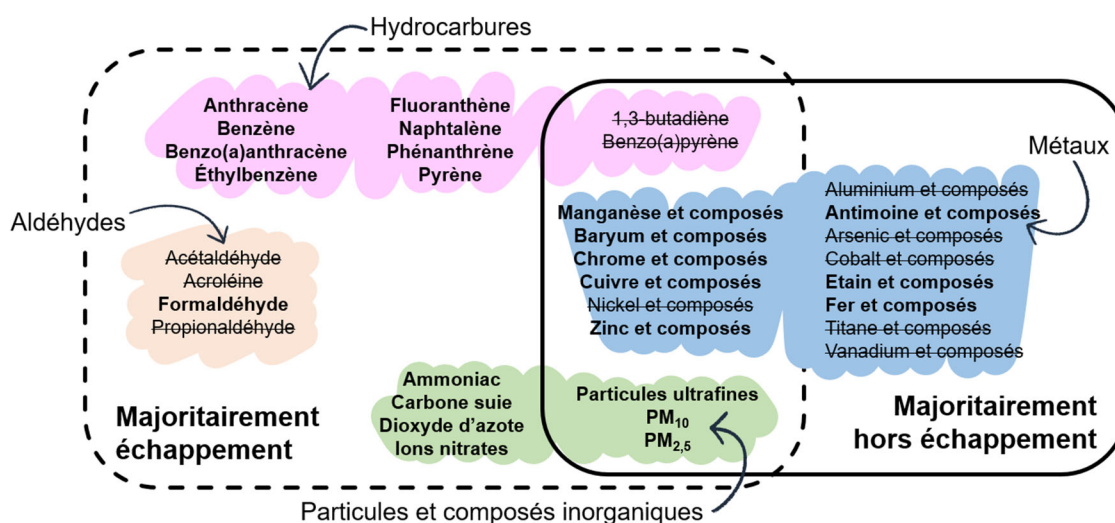


Figure 3. Polluants sélectionnés (en gras, n=24) et non sélectionnés (barrés, n=11) en vue de l'évaluation des expositions et des risques sanitaires

### 3.3. Population d'étude

L'expertise a porté sur les métiers et activités professionnelles impliquant la présence des travailleurs sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier, en extérieur ou dans l'habitacle d'un véhicule. L'objectif est de cibler des activités professionnelles pour lesquelles les niveaux d'exposition attendus à la pollution issue du trafic routier sont plus élevés qu'au sein de la population générale.

La conduite d'auditions et de consultations de représentants de différents secteurs d'activité (exploitation, entretien et maintenance de la voirie, transport de personnes, transport/livraison de marchandises, collecte de déchets etc.), ainsi que l'analyse de la littérature, ont permis de documenter une liste de métiers et activités variés (Figure 4). La population considérée dans cette expertise ne rend pas compte de manière exhaustive de l'ensemble des situations d'exposition professionnelle à la pollution issue du trafic routier ni de l'ensemble des travailleurs concernés. Toutefois, les circonstances d'exposition définies dans ces travaux sont suffisamment générales pour couvrir des métiers et activités non directement documentés ici.

Population d'étude		
→ Métiers/activités professionnelles impliquant la présence du travailleur sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier (en extérieur ou dans l'habitacle d'un véhicule) pendant la majeure partie de leur temps de travail (> 75%)		
Secteurs	Métiers (exemples)	Sources de données
Exploitation et entretien des routes et de la voirie	Agents d'exploitation des routes ; Chef d'équipe ; Technicien de maintenance	Auditions et/ou consultations de représentants des secteurs d'activités; littérature scientifique; conventions collectives propres à certains secteurs d'emploi; fiches médico-professionnelles
Assainissement et entretien de l'espace public	Eboueurs ; Conducteurs de benne à ordures ménagères ; Agents de nettoyage	
Transport routier de voyageurs	Conducteur en périodes scolaires ; Conducteur de tourisme ; Conducteur de ligne régulière ; Conducteurs de personnes à mobilité réduite ; Conducteurs de taxis ou de voitures de transport avec chauffeur (VTC)	
Transport routier de marchandises	Conducteurs de transport routier de marchandises ; Facteurs ; Livreurs des plateformes de livraison	

*Secteurs et métiers pour lesquels des données ont pu être collectées*

Figure 4. Définition de la population d'étude et exemples de métiers et activités documentés dans l'expertise

En combinant les informations relatives aux activités et aux environnements de travail, le GT a défini de façon globale trois grandes circonstances d'exposition professionnelle à la pollution atmosphérique issue du trafic routier pour des activités représentant au moins 75 % du temps de travail :

- **Circonstance « Extérieur »** : activités réalisées en extérieur sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier (exemples de métiers : éboueurs, balayeurs, livreurs de plateformes) ;
- **Circonstance « Habitacle »** : activités dans l'habitacle d'un véhicule sur les voies de circulation (exemples de métiers : conducteurs de véhicules de transport de passagers (bus, taxis ou VTC, autocar) ou de marchandises (chauffeur poids lourds, conducteur de benne à ordures ménagères)) ;

- **Circonstance « Mixte »** : activités réalisées en extérieur sur les voies ou à proximité du trafic routier et activités dans l'habitacle d'un véhicule sur les voies, avec une répartition du temps de travail variable (exemples de métiers : travailleurs des Directions Interdépartementales des Routes (DIR) ou plus largement, travailleurs de l'exploitation et de la maintenance des voiries).

Une population de référence a été définie, à des fins de comparaison, comme non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier. Cette population exerce ses activités en dehors de toute influence du trafic routier pendant au moins 75 % du temps de travail.

### 3.4. Evaluation de l'exposition et caractérisation des risques

- Déterminants de l'exposition des travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier

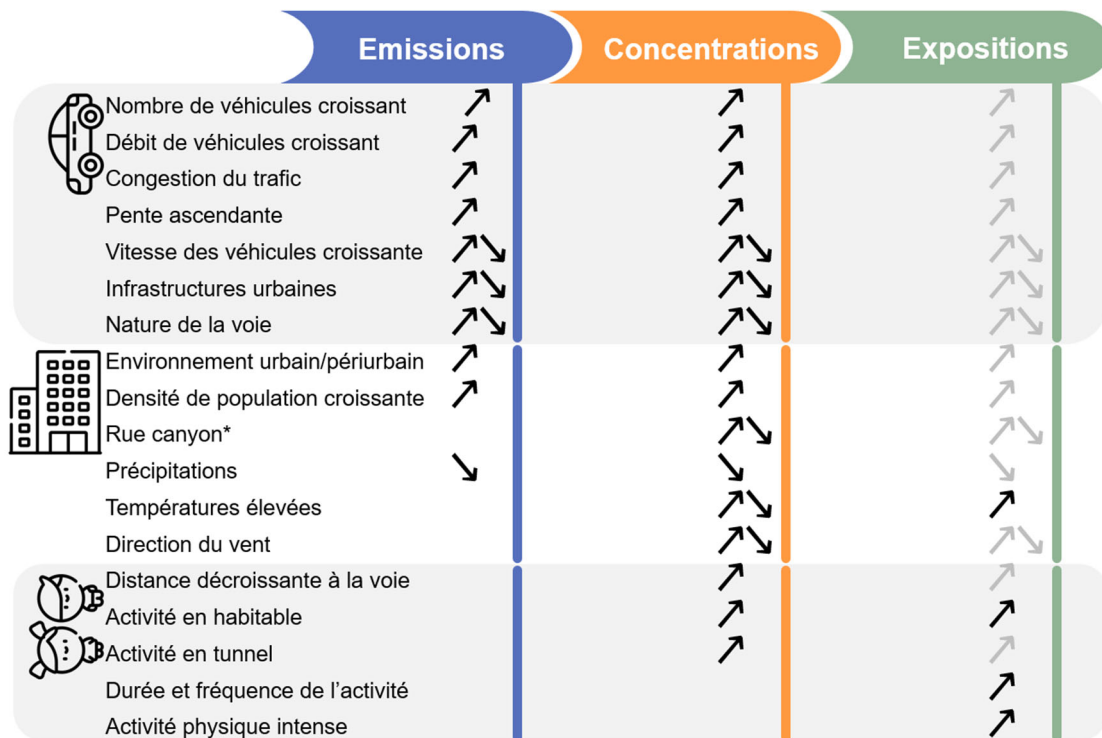
En amont des choix méthodologiques pour l'évaluation des expositions et des risques, le GT s'est attaché à décrire les déterminants de l'exposition des travailleurs selon leurs impacts sur les émissions de polluants par le trafic routier, les concentrations en polluants observées sur les voies ou à proximité du trafic routier et l'exposition des travailleurs à ces polluants. Le premier groupe de déterminants concerne les caractéristiques du trafic routier à proximité du travailleur réalisant une activité en bordure de voie. Le deuxième groupe de déterminants concerne l'environnement autour de la voie de circulation dans lequel le travailleur réalise son activité. Le dernier groupe de déterminants concerne l'activité réalisée par le travailleur. La Figure 5 présente des exemples de déterminants dans chaque catégorie ainsi que la direction de leurs impacts<sup>2</sup>.

Bien que relativement succincte et qualitative, cette description fournit une compréhension plus globale des situations d'exposition pouvant affecter les travailleurs. En particulier, elle peut aider à la mise en place de mesures préventives grâce à l'analyse des facteurs susceptibles de majorer l'exposition.

---

<sup>2</sup> Le détail des déterminants par catégorie et les sources recensées pour documenter leurs impacts sont disponibles dans le rapport d'expertise collective associé au présent avis.





↗ témoigne d'une augmentation. ↘ témoigne d'une diminution. ↗↘ traduit un impact variable selon d'autres facteurs, tels que le polluant ou la localisation. Les flèches noires témoignent d'un impact documenté dans la littérature. Les flèches grises représentent l'impact attendu des déterminants sur l'exposition des personnes à proximité du trafic routier. L'absence de flèche représente l'absence d'impact de ce déterminant. \*Rue étroite bordée en continu par de grands bâtiments.

**Figure 5. Impacts de certains déterminants sur les niveaux d'émissions, de concentrations et d'expositions**

#### ■ Méthodes pour l'évaluation des expositions

L'évaluation des expositions repose sur la combinaison i) des niveaux de concentrations atmosphériques des polluants et ii) des durées d'exposition à ces polluants. Dans la présente analyse, ces durées d'exposition ont été estimées uniquement pendant le temps de travail afin de refléter les expositions survenant dans un contexte professionnel. L'exposition en dehors des heures de travail est supposée la même pour tous dans la démarche appliquée.

i) Des données de concentrations atmosphériques des polluants sur l'ensemble du territoire national ont été recueillies par consultation auprès de différents acteurs en France : Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air, Institut des Géosciences de l'Environnement et Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement.

- Les concentrations mesurées *en air ambient à proximité du trafic routier* ont été utilisées pour estimer les expositions des travailleurs dans les trois circonstances d'exposition professionnelle.
- Les concentrations mesurées *en air ambient en dehors de toute influence de sources proches* (ni trafic ni industrielle, issues de stations en situations de fond) ont été utilisées pour estimer les expositions de la population de référence.
- Les *concentrations dans les habitacles de véhicules circulant sur les voies* ont été estimées à partir des données de concentrations atmosphériques en proximité trafic combinées à des facteurs de conversion spécifiques de chaque polluant ou famille de

polluant. Ces derniers ont été obtenus à partir d'une comparaison des mesures dans l'habitable et à l'extérieur en proximité du trafic routier (Ravelomanantsoa *et al.* 2021).

Pour chacune des trois circonstances d'exposition professionnelle « extérieure », « habitacle » et « mixte », **deux scénarios de niveaux de concentrations, représentant des expositions modérées et fortes**, ont été considérés.

- Le scénario d'exposition modérée à court terme considère la médiane des concentrations moyennes journalières et le scénario d'exposition forte à court terme considère le 95<sup>ème</sup> centile des concentrations moyennes journalières.
- Le scénario d'exposition modérée à long terme considère la médiane des concentrations moyennes annuelles et le scénario d'exposition forte à long terme considère le 95<sup>ème</sup> centile des concentrations moyennes annuelles.

Pour la population de référence, seul le scénario d'exposition modérée a été retenu tant pour le court terme que pour le long terme, reposant sur la médiane des concentrations moyennes journalières et annuelles, respectivement.

ii) Les *données descriptives de durées d'exposition* sont issues de l'analyse des données collectées au sein de la population d'étude. **Deux scénarios de durées d'exposition, traduisant des temps de travail standard et atypiques**, ont tout d'abord été définis.

- Le scénario de temps de travail standard a été élaboré pour l'ensemble des circonstances et est généralisable à une grande partie des activités documentées au sein de la population d'étude. Il considère une organisation standard du temps de travail : 7 heures par jour, 5 jours par semaine, 45,6 semaines par an, pour une durée de 40 ans dans l'emploi.
- En complément, des scénarios de temps de travail atypiques en termes de taux et amplitudes horaires ont été définis au sein des circonstances « extérieur » et « habitacle » à partir de métiers identifiés dans la présente expertise : les travailleurs de plateforme (9 heures par jours, 6 jours par semaine, 47 semaines par an, pour une durée de 10 ans dans l'emploi) et les conducteurs de taxis ou VTC (11 heures par jour, 6 jours par semaines, 49 semaines par an, pour une durée de 24 ans dans l'emploi).

L'estimation des durées d'exposition tient également compte de la fréquence de temps passé, par rapport à la durée totale du temps de travail, à exercer des activités au sein des circonstances d'exposition définies précédemment. Dans la circonstance « extérieur », l'hypothèse retenue est que 100 % du temps de travail est passé en extérieur sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier. Dans la circonstance « habitacle », l'hypothèse retenue est que 100 % du temps de travail est passé dans l'habitable d'un véhicule sur les voies de circulation. Pour la circonstance « mixte », il a été considéré que 50 % du temps de travail était passé en « extérieur » et 50 % du temps de travail était passé en « habitacle ». Ces hypothèses ont été retenues pour faciliter l'estimation des expositions et l'interprétation des résultats de la caractérisation des risques tout en restant cohérentes avec les éléments collectés lors des consultations et auditions.

Pour la population de référence, définie comme non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier, il a été considéré que 0 % du temps de travail est passé sur les voie de circulation (en extérieur ou en habitacle) ou à proximité du trafic routier. Par ailleurs, seul le scénario standard a été appliqué à cette population.

La Figure 6 synthétise l'application des différents scénarios et hypothèses à l'évaluation des expositions au sein des circonstances et des populations.

Hypothèses retenues pour estimer les expositions		Population de travailleurs exerçant des activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier = exposés <u>durant le temps de travail</u> à la pollution issue du trafic routier						Population de référence = non exposée <u>durant le temps de travail</u> à la pollution issue du trafic routier
		« Extérieur »		« Habitacle »		« Mixte »		
Scénarios de niveaux d'exposition	Modérée	x		x		x		x
	Forte	x		x		x		-
Scénarios de durées d'exposition	Standard	x		x		x		x
	Atypique	x <i>(livreur de plateformes)</i>		x <i>(conducteur de taxi)</i>		-		-
Types d'exposition	CT	x		x		x		x
	LT	x		x		x		x
Bilan des scénarios considérés pour chaque situation d'exposition	Explicite	modérée standard CT et LT	modérée atypique CT et LT	modérée standard CT et LT	modérée atypique CT et LT	modérée standard CT et LT		modérée standard CT et LT
	N	forte standard CT et LT	forte atypique CT et LT	forte standard CT et LT	forte atypique CT et LT	forte standard CT et LT		
scénarios totaux		8		8		4		2

Figure 6. Scénarios d'exposition à court terme (CT) et long terme (LT) retenus dans l'expertise

#### ■ Méthodes pour la caractérisation des risques

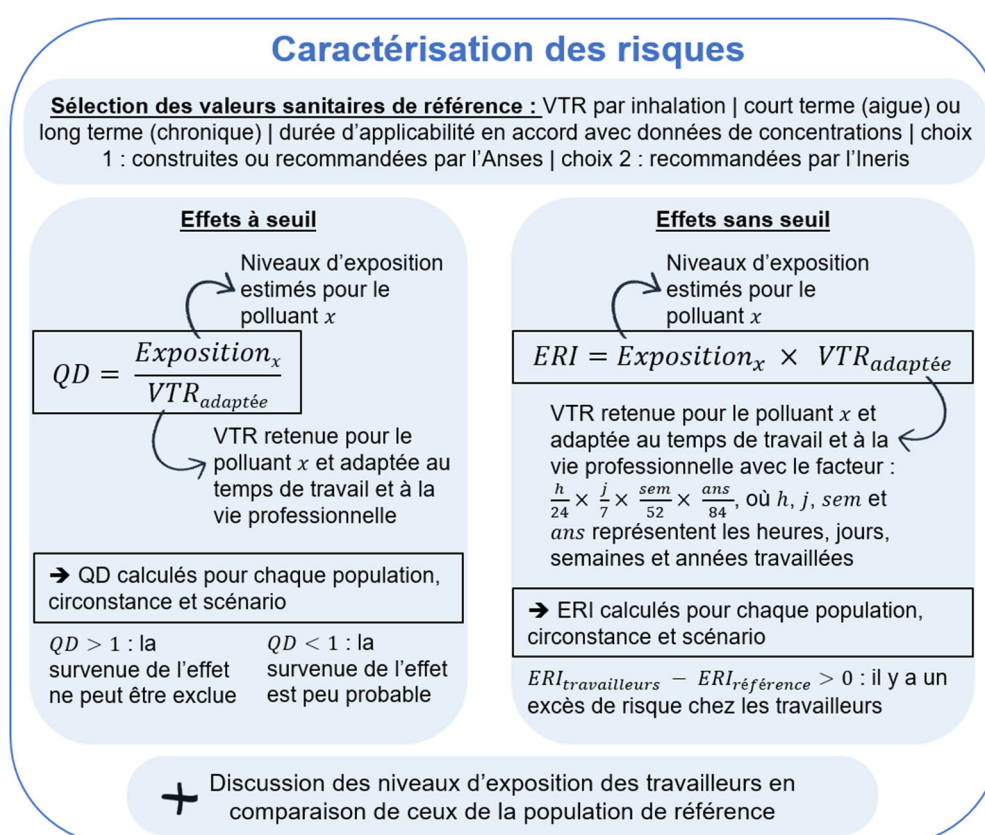
Une fois les expositions estimées, ces dernières sont comparées aux valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour caractériser les risques. La sélection des VTR à utiliser dans les calculs de risque a considéré les critères suivants : i) voie d'exposition par inhalation, ii) durée d'applicabilité de la VTR en accord avec les estimations des expositions, iii) organisme et date de construction (VTR récente et/ou recommandée par l'Anses voire l'Ineris). En l'absence de VTR, les valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé ont été considérées. Les VTR sélectionnées ont été modifiées pour s'adapter aux scénarios d'exposition définis sur le temps de travail et la vie professionnelle et nommées « VTR<sub>adaptée</sub> ».

La méthode de calcul des risques sanitaires ainsi que l'expression des résultats dépendent du mode d'action de l'effet sanitaire considéré par la VTR.

- Dans le cas d'un effet à seuil de dose, le risque s'exprime via le calcul d'un quotient de danger (QD) ; si la valeur du QD dépasse la valeur de 1, des effets sont susceptibles de se produire. L'interprétation du QD doit se faire à l'aune des incertitudes associées aux différentes étapes de la démarche d'évaluation des risques, notamment lorsque la valeur du QD est proche de 1.

- Dans le cas d'un effet sans seuil de dose, le risque s'exprime via le calcul d'un excès de risque individuel (*ERI*). Les niveaux de risque habituellement considérés comme acceptables dans l'approche d'évaluation des risques pour les substances chimiques, sont  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  ou  $10^{-6}$ . Si l'*ERI* calculé pour une population de travailleurs exposés dépasse l'*ERI* calculé pour la population de référence (i.e.  $ERI_{travailleurs} - ERI_{référence} > 0$ ), un excès de risque pour les travailleurs est mis en évidence. Ce dernier peut se traduire en termes d'impact en considérant que des différences de l'ordre de  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  et  $10^{-6}$  représentent un cas en excès pour 10 000 individus, 100 000 individus et 1 000 000 d'individus exposés professionnellement, respectivement, par rapport au nombre de cas qui serait observé dans la population de référence<sup>3</sup>.

Ces principes sont récapitulés dans la Figure 7, ainsi que le détail des calculs mis en œuvre dans le cadre de la présente expertise.



*QD* : quotient de danger ; *ERI* : Excès de risque individuel associé à un niveau d'exposition ; *VTR* : valeur toxicologique de référence. En l'absence de *VTR*, les valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé ont été considérées.

**Figure 7. Calcul de risque sanitaire lié à l'exposition à la pollution atmosphérique sur le temps de travail**

<sup>3</sup> Dans la présente expertise, les résultats des calculs d'excès de risques n'ont été traduits en termes d'impacts que lorsqu'ils représentaient des nombres entiers de cas pour 1 000 personnes exposées professionnellement.

■ Résultats de l'estimation des expositions et de la caractérisation des risques

Les estimations des expositions ont été possibles pour les polluants suivants : dioxyde d'azote, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, particules ultrafines, carbone suie, HAP en phase particulaire (anthracène, benzo(a)anthracène, fluoranthène, phénanthrène, pyrène), benzène, éthylbenzène, ammoniac, métaux (antimoine, baryum, chrome, cuivre, étain, fer, manganèse, zinc) et ions nitrates. Une synthèse de ces résultats est proposée dans le Tableau A en Annexe.

Parmi ces polluants, la caractérisation des risques a été possible pour les polluants suivants: dioxyde d'azote, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, carbone suie, HAP en phase particulaire (anthracène, fluoranthène, phénanthrène et pyrène), benzène, éthylbenzène, ammoniac et métaux (antimoine et baryum).

La caractérisation des risques n'a pas été réalisée pour certains polluants en raison de l'absence de valeurs de référence par inhalation (particules ultrafines, ions nitrates, zinc et fer) ou de l'inadéquation de ces valeurs avec les données de concentrations disponibles (benzo(a)anthracène, cuivre, chrome, étain et manganèse). Il n'a pas été possible d'estimer les expositions des travailleurs au naphthalène (aucune donnée de concentration collectée) et au formaldéhyde (concentrations horaires issues d'une campagne unique ancienne (2011)).

Une synthèse des résultats est proposée dans le Tableau 1 pour les polluants sans seuil d'effet et le Tableau 2 pour les polluants à seuil d'effet. Ceux-ci présentent, par polluant et type d'exposition (court terme et long terme) :

- l'effet critique considéré par la valeur sanitaire de référence utilisée pour les calculs de risque ;
- le ratio des concentrations d'expositions estimées pour les circonstances « extérieur » et « habitacle » avec celles estimées pour la population de référence (présenté sous la forme de facteur de surexposition) ;
- le résultat des calculs de risque (*ERI* pour le Tableau 1 et *QD* pour le Tableau 2) pour la population de référence ;
- les fourchettes des risques calculés (*ERI* pour le Tableau 1 et *QD* pour le Tableau 2) pour les travailleurs au sein des circonstances « extérieur » et « habitacle » pour l'ensemble des scénarios.

Les résultats des estimations des expositions et des calculs de risques pour la circonstance « mixte » ne sont pas présentés dans ces tableaux pour raison de clarté<sup>4</sup>.

Pour l'ensemble des polluants considérés, les expositions estimées pour les travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou en proximité de trafic routier sont toujours supérieures ou égales aux expositions estimées pour la population de référence, non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier. Les circonstances d'exposition en habitacles ont une influence forte dans cette comparaison. Pour le carbone suie (court terme et long terme), les PM<sub>2,5</sub> (court terme), l'antimoine (court terme) et l'éthylbenzène (court terme et long terme), le facteur de surexposition dans les habitacles est susceptible de dépasser 10.

---

<sup>4</sup> Les résultats pour cette circonstance sont toujours compris entre ceux des circonstances « extérieur » et « habitacle » et n'apportent pas d'informations complémentaires par rapport aux fourchettes déjà proposées dans le tableau. Le détail des résultats pour toutes les circonstances et scénarios est disponible dans le rapport d'expertise collective associé au présent avis.



■ Polluants sans seuil d'effet (Tableau 1)

En conséquence de cette surexposition, pour les polluants sans seuil d'effet, les risques calculés pour les travailleurs exerçant sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier sont toujours supérieurs à ceux de la population de référence. Sont détaillés ci-dessous les résultats principaux.

Sur le court terme, les risques d'effets sans seuil estimés **pour le carbone suie** atteignent les niveaux habituellement considérés comme acceptables dans le cas de l'*ERI* maximum calculé pour la circonstance « habitacle ». Le facteur de surexposition au carbone suie entre les travailleurs et la population de référence atteint 32 dans le cas de ce scénario. Les travailleurs ont un excès de risque d'hospitalisations de causes cardiaques attribuable à la surexposition à court terme au carbone suie par rapport à la population de référence ( $ERI_{travailleurs}$  de  $6,3.10^{-7}$  à  $180.10^{-7}$  supérieurs à  $ERI_{référence} = 1,3.10^{-7}$ ).

Sur le long terme, les risques d'effets sans seuil estimés **pour les PM<sub>2,5</sub> et le carbone suie** dépassent les niveaux habituellement considérés comme acceptables quels que soient les circonstances et scénarios considérés.

Les concentrations d'exposition sur le long terme **aux PM<sub>2,5</sub>** estimées pour les travailleurs sont supérieures à celles de la population de référence, jusqu'à un facteur 6 selon les scénarios. Les travailleurs présentent un excès de risque de décès anticipé attribuable à la surexposition à long terme aux PM<sub>2,5</sub> par rapport à la population de référence ( $ERI_{travailleurs}$  de  $13.10^{-3}$  à  $120.10^{-3}$  supérieurs à  $ERI_{référence} = 11.10^{-3}$ ). Ces différences d'*ERI* se traduisent en termes d'impact tel que, pour 1 000 personnes exposées pendant le temps de travail, de 2 à 109 cas supplémentaires seraient attribuables à la surexposition professionnelle aux PM<sub>2,5</sub> par rapport à ce qui serait observé dans la population de référence.

Pour **le carbone suie**, les concentrations d'exposition estimées sur le long terme pour les travailleurs dépassent celles de la population de référence jusqu'à un facteur 17 selon les scénarios. Les travailleurs présentent également un excès de risque décès anticipé attribuable à la surexposition au carbone suie par rapport à la population de référence ( $ERI_{travailleurs}$  de  $11.10^{-3}$  à  $56.10^{-3}$  supérieurs à  $ERI_{référence} = 8.10^{-3}$ ). Ces différences d'*ERI* se traduisent en termes d'impact tel que, pour 1 000 personnes exposées pendant le temps de travail, de 3 à 48 cas supplémentaires seraient attribuables à la surexposition professionnelle aux carbone suie par rapport à ce qui serait observé dans la population de référence.

■ Polluants à seuil d'effet (Tableau 2)

Pour les polluants à seuil d'effet, les *QD* calculés dépassent 1 pour un seul polluant, **le dioxyde d'azote**, pour des expositions à court et long terme. Il est à noter que sur le long terme, le *QD* calculé pour la population de référence dépasse également 1.

Sur le court terme, **pour le dioxyde d'azote**, les concentrations d'exposition estimées pour les travailleurs exerçant sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier sont supérieures à celles estimées pour la population de référence, jusqu'à un facteur 8 selon les scénarios. Chez les travailleurs, les niveaux d'exposition estimés amènent un dépassement de la valeur de référence ( $QD_{travailleurs}$  de 1,3 à 3,6 selon le scénario) ce qui indique une situation d'exposition préoccupante pour la santé. En comparaison, le *QD* obtenu pour la population de référence est inférieur à 1 ( $QD_{référence} = 0,5$ ) et traduit une situation d'exposition non préoccupante pour la santé.

Sur le long terme, les concentrations d'exposition **au dioxyde d'azote** estimées pour les travailleurs exerçant sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier sont supérieures à celles estimées pour la population de référence, jusqu'à un facteur 5 selon les scénarios (Tableau 2). Les niveaux d'exposition estimés seraient préoccupants pour la santé, tant dans la population de travailleurs ( $QD_{travailleurs}$  de 2,0 à 7,7 selon le scénario) que dans la population de référence ( $QD_{référence}=1,4$ ).

Tableau 1. Synthèse des résultats de l'évaluation des expositions et de la caractérisation des risques pour les polluants sans seuil d'effet

Durée	Polluant	Effet critique considéré par la valeur sanitaire de référence	Facteur de surexposition des travailleurs par rapport à la population de référence		ERI pour la population de référence	ERI pour les travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier			
			Circonstance « extérieur » (tous scénarios)	Circonstance « habitacle » (tous scénarios)		Circonstance « extérieur » (tous scénarios)		Circonstance « habitacle » (tous scénarios)	
						ERI min	ERI max	ERI min	ERI max
Court terme	Carbone suie	Augmentation du nombre d'hospitalisations toutes causes cardiovasculaires	de x2 à x9	de x8 à x32	1,3.10 <sup>-7</sup>	6,3.10 <sup>-7</sup>	40.10 <sup>-7</sup>	22.10 <sup>-7</sup>	180.10 <sup>-7</sup>
	PM <sub>2,5</sub>	Augmentation du nombre d'hospitalisations toutes causes cardiaques	de x1 à x3	de x5 à x12	1,0.10 <sup>-7</sup>	2,8.10 <sup>-7</sup>	5,1.10 <sup>-7</sup>	3,3.10 <sup>-7</sup>	8,3.10 <sup>-7</sup>
	PM <sub>10</sub>		de x1 à x3	de x3 à x6	0,9.10 <sup>-7</sup>	2,7.10 <sup>-7</sup>	5,0.10 <sup>-7</sup>	3,0.10 <sup>-7</sup>	7,4.10 <sup>-7</sup>
Long terme	PM <sub>2,5</sub>	Décès anticipés toutes causes non accidentelles	de x1 à x2	de x4 à x6	11.10 <sup>-3</sup>	13.10 <sup>-3</sup>	17.10 <sup>-3</sup>	26.10 <sup>-3</sup>	120.10 <sup>-3</sup>
	Carbone suie		de x2 à x5	de x8 à x17	8.10 <sup>-3</sup>	11.10 <sup>-3</sup>	21.10 <sup>-3</sup>	23.10 <sup>-3</sup>	56.10 <sup>-3</sup>
	Benzène	Augmentation de la mortalité par leucémie aiguë myéloïde	de x1 à x2	de x2 à x4	1,4.10 <sup>-7</sup>	1,4.10 <sup>-7</sup>	2,8.10 <sup>-7</sup>	3,1.10 <sup>-7</sup>	8,0.10 <sup>-7</sup>
	Phénanthrène*	Augmentation de l'incidence des tumeurs du tractus respiratoire supérieur (cavité nasale, larynx, trachée)	x2	de x3 à x4	3,7.10 <sup>-10</sup>	5,4.10 <sup>-10</sup>	6,8.10 <sup>-10</sup>	13.10 <sup>-10</sup>	18.10 <sup>-10</sup>
	Anthracène*		x3	x6	1,5.10 <sup>-10</sup>	2,9.10 <sup>-10</sup>	4,6.10 <sup>-10</sup>	8,9.10 <sup>-10</sup>	12.10 <sup>-10</sup>
	Fluoranthène*		x2	de x3 à x4	0,9.10 <sup>-10</sup>	1,3.10 <sup>-10</sup>	1,7.10 <sup>-10</sup>	3,0.10 <sup>-10</sup>	4,4.10 <sup>-10</sup>
	Pyrène*		x3	x5	0,7.10 <sup>-10</sup>	1,2.10 <sup>-10</sup>	1,9.10 <sup>-10</sup>	3,6.10 <sup>-10</sup>	4,8.10 <sup>-10</sup>

Les résultats pour la circonstance mixte ne sont pas représentés ici pour clarté ; les résultats pour cette circonstance sont toujours compris dans ceux des circonstances extérieur et habitacle. L'ERI est l'excès de risque individuel (égal au produit de l'exposition estimée avec la valeur de référence retenue) qui représente la probabilité supplémentaire qu'a un individu de développer au cours de sa vie l'effet associé à l'exposition à un polluant sur la durée de travail. Les valeurs repères traditionnellement utilisées sont 10<sup>-4</sup> (1 cas en excès pour une population exposée de 10 000), 10<sup>-5</sup> (1 cas pour 100 000) ou 10<sup>-6</sup> (1 cas pour 1 000 000). \*En phase particulaire (mesuré dans la fraction PM<sub>10</sub>). Il faut noter que les puissances de 10 utilisées pour exprimer les résultats des calculs de risques ont été harmonisées à l'échelle de chaque ligne du tableau pour faciliter les comparaisons entre les populations.

Tableau 2. Synthèse des résultats de l'évaluation des expositions et de la caractérisation des risques (QD : quotients de dangers) pour les polluants à seuil d'effet

Durée	Polluant	Effet critique considéré par la valeur sanitaire de référence	Facteur de surexposition des travailleurs par rapport à la population de référence		QD pour la population de référence	QD pour les travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier			
			Circonstance « extérieur » (tous scénarios)	Circonstance « habitacle » (tous scénarios)		Circonstance « extérieur » (tous scénarios)		Circonstance « habitacle » (tous scénarios)	
						QD min	QD max	QD min	QD max
Court terme	Dioxyde d'azote	Mortalité anticipée toutes causes non accidentelles	de x3 à x6	de x3 à x8	0,5	1,3	3,0	1,6	3,6
	Benzène	Diminution de la réponse proliférative des lymphocytes B, diminution des lymphocytes circulants	de x1 à x3	de x3 à x8	3,1.10 <sup>-3</sup>	3,8.10 <sup>-3</sup>	11.10 <sup>-3</sup>	8,3.10 <sup>-3</sup>	24.10 <sup>-3</sup>
	Ammoniac	Irritation respiratoire	de x1 à x4	Non calculable**	2,2.10 <sup>-4</sup>	3,3.10 <sup>-4</sup>	9,7.10 <sup>-4</sup>	Non calculable**	Non calculable**
	Antimoine*	Métaplasie squameuse de l'épiglotte	de x3 à x13	de x6 à x23	0,5.10 <sup>-4</sup>	1,7.10 <sup>-4</sup>	6,7.10 <sup>-4</sup>	3,1.10 <sup>-4</sup>	12.10 <sup>-4</sup>
	Ethylbenzène	Effet ototoxique	de x1 à x6	de x2 à x11	1,6.10 <sup>-6</sup>	2,0.10 <sup>-6</sup>	9,8.10 <sup>-6</sup>	3,9.10 <sup>-6</sup>	19.10 <sup>-6</sup>
Long terme	Dioxyde d'azote	Mortalité anticipée toutes causes non accidentelles	de x2 à x4	de x3 à x5	1,4	2,0	6,4	3,1	7,7
	Benzène	Diminution du nombre de lymphocytes B	de x1 à x2	de x2 à x4	1,6.10 <sup>-2</sup>	1,6.10 <sup>-2</sup>	3,1.10 <sup>-2</sup>	2,7.10 <sup>-2</sup>	6,9.10 <sup>-2</sup>
	Ammoniac	Diminution de la fonction pulmonaire et augmentation des symptômes respiratoires	x1	Non calculable**	1,7.10 <sup>-3</sup>	1,2.10 <sup>-3</sup>	1,6.10 <sup>-3</sup>	Non calculable**	Non calculable**
	Baryum*	Augmentation de la pression artérielle et altérations de l'électrocardiogramme	x2	x3	6,9.10 <sup>-4</sup>	8,1.10 <sup>-4</sup>	13.10 <sup>-4</sup>	16.10 <sup>-4</sup>	23.10 <sup>-4</sup>
	Ethylbenzène	Effet ototoxique	de x2 à x6	de x3 à x11	2,0.10 <sup>-5</sup>	2,3.10 <sup>-5</sup>	11.10 <sup>-5</sup>	4,5.10 <sup>-5</sup>	22.10 <sup>-5</sup>

Les résultats pour la circonstance mixte ne sont pas représentés ici pour clarté ; les résultats pour cette circonstance sont toujours compris dans ceux des circonstances extérieur et habitacle. Le QD est le quotient de danger (égal au ratio de l'exposition estimée sur la valeur de référence retenue). \* Mesurés dans la fraction PM<sub>10</sub>. \*\* En raison de l'absence de facteurs de conversion des concentrations ambiantes extérieures en concentrations équivalentes habitacles pour ce polluant.

## ■ Incertitudes

Les principales incertitudes associées aux différentes étapes de la démarche d'évaluation des risques sont synthétisées ci-après.

A l'étape d'identification et de caractérisation des dangers, certains polluants n'ont pas été retenus, parfois en raison de l'absence de VTR. La dérivation de ces dernières est soumise à des incertitudes principalement en lien avec l'extrapolation des fortes concentrations au domaine des faibles concentrations, l'extrapolation à l'humain des effets observés dans des études d'expérimentation animale, la qualité des données disponibles dans la littérature scientifique et les méthodes hétérogènes employées par les organismes proposant des VTR. Néanmoins, les VTR ont été adaptées aux scénarios d'exposition choisis et à la population professionnelle. De plus, les valeurs de référence pour les PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, carbone suie et dioxyde d'azote reposent sur l'exploitation de données épidémiologiques récentes en population générale, ce qui réduit ces incertitudes.

Pour évaluer les expositions, des données de concentrations ambiantes ont été exploitées au lieu de mesures de l'exposition individuelle, permettant d'inclure davantage de polluants et de situations d'exposition et d'offrir une représentativité spatiale beaucoup plus large. Cette représentativité reste néanmoins limitée pour certains polluants en raison du faible nombre de données ou stations de mesures disponibles (particules ultrafines, HAPs, métaux et ammoniac). L'absence de prise en compte des jours et plages horaires de travail courants (du lundi au vendredi, de 7h à 19h) peut entraîner une sous-estimation des expositions. Néanmoins, pour le dioxyde d'azote, les PM<sub>10</sub>, les PM<sub>2,5</sub> et le carbone suie, la quantité et la répartition des données collectées augmentent la fiabilité des estimations des expositions et des résultats.

Les données de concentrations ambiantes proviennent majoritairement de zones urbaines et périurbaines, ne reflétant pas toutes les situations d'exposition. Cependant, il est probable que les activités des travailleurs exposés à la pollution atmosphérique se trouvent principalement dans ces zones. Concernant l'exposition dans l'habitacle, les estimations sont basées sur des concentrations extérieures et des facteurs de conversion spécifiques à chaque polluant ou famille de polluants. La confiance dans ces facteurs varie : elle est relativement élevée pour le NO<sub>2</sub>, les PM<sub>2,5</sub> et le carbone suie mais plus limitée pour les autres polluants. De manière générale, il est admis que les concentrations de ces polluants dans les habitacles sont supérieures à celles en extérieur.

Les métiers et activités documentés dans la présente expertise ne couvrent pas l'ensemble des travailleurs exposés à la pollution issue du trafic routier, bien que l'analyse exploite des circonstances d'exposition généralisables. La définition de plusieurs scénarios au sein de ces circonstances permet de couvrir une partie des incertitudes en tenant compte de la variabilité des expositions. Enfin, un seul scénario a été défini pour la population de référence ce qui ne permet pas d'indication de variabilité ou d'incertitude pour cette population mais facilite l'exercice de comparaison à la population des travailleurs. Les expositions de la population de référence se basent sur des concentrations ambiantes de fond en France. Cette approche est couramment utilisée dans les études épidémiologiques pour décrire l'exposition environnementale à la pollution atmosphérique en population générale et a été retenue pour la comparaison à une population de travailleurs professionnellement exposés.



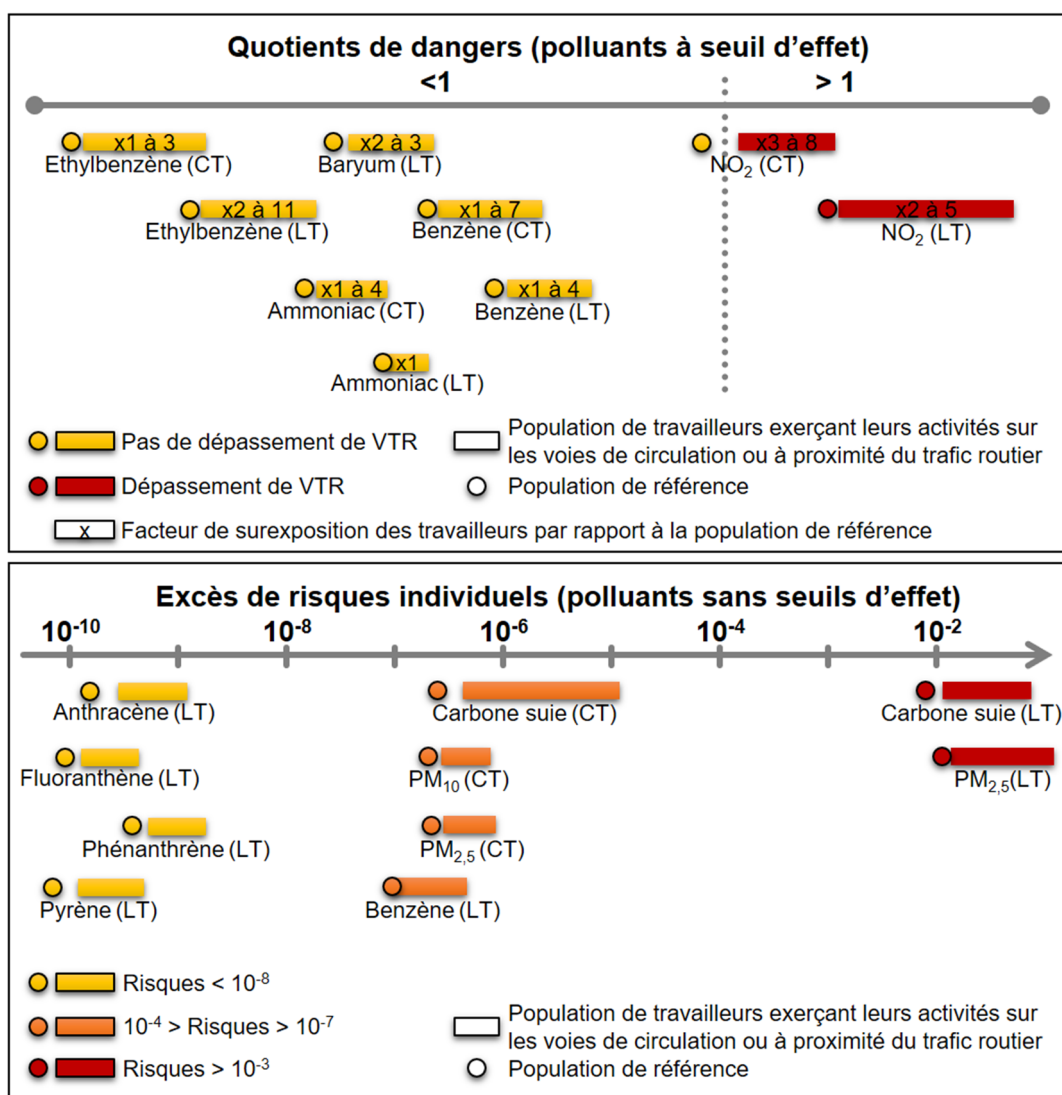
### 3.5. Conclusions et recommandations du CES et du GT

#### 3.5.1. Conclusions

- En réponse à la question de l'établissement d'un « excès de risque supplémentaire lié à l'exposition au trafic routier pour les travailleurs par rapport à la population générale »

La pollution issue du trafic routier pendant le temps de travail induit des excès de risques sanitaires chez les travailleurs exposés (i.e. ayant des activités sur les voies de circulation ou en proximité de trafic) en comparaison avec une population de référence, non exposée professionnellement. Dans le cadre de l'expertise, les activités professionnelles impliquant la présence dans un habitacle de véhicule circulant dans le flux du trafic sont associées aux excès de risques les plus élevés, en lien avec une surexposition plus importante.

Une représentation synthétique des ordres de grandeur des quotients de danger (pour les polluants avec effets « à seuil ») et des excès de risque individuel (pour les polluants avec effets « sans seuil ») est proposée dans la Figure 8.



CT : court terme ; LT : long terme ; NO<sub>2</sub> : dioxyde d'azote ; PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> : particules avec un diamètre aérodynamique médian < 10 µm et < 2,5 µm, respectivement ; VTR : valeur toxicologique de référence.

Figure 8. Synthèse des quotients de danger et des excès de risque individuel obtenus dans la présente expertise

Pour les effets sans seuil, les niveaux de risque habituellement considérés comme acceptables dans l'approche d'évaluation des risques pour les substances chimiques, sont  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  ou  $10^{-6}$ . Pour les particules fines de l'air ambiant ( $PM_{2,5}$ ), les concentrations les plus faibles observées en France sont associées en population générale à un niveau d'excès de risque de l'ordre de  $10^{-3}$  pour le cancer du poumon et le petit poids à la naissance<sup>5</sup> et de l'ordre de  $10^{-2}$  pour l'asthme et les décès anticipés (Anses 2024).

Pour les effets à seuil, les niveaux de risque sont habituellement considérés comme acceptables lorsque l'exposition ne dépasse pas la valeur sanitaire de référence de la substance chimique considérée et donc que le quotient de danger est inférieur à 1.

### **Pour les polluants avec effets « sans seuil », le CES et le GT concluent que :**

Les risques de décès anticipés attribuables aux **expositions à long terme aux  $PM_{2,5}$  et au carbone suie issus du trafic routier** sont supérieurs chez les travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier, en comparaison à ceux observés dans la population de référence. Les risques pour les travailleurs sont de  $11 \cdot 10^{-3}$  à  $120 \cdot 10^{-3}$  ce qui représente 11 à 120 cas supplémentaires pour 1 000 personnes exposées professionnellement<sup>6</sup> par rapport aux cas observés dans la population de référence.

Les risques d'hospitalisations pour causes cardiovasculaires ou cardiaques attribuables aux **expositions journalières aux  $PM_{10}$ , aux  $PM_{2,5}$  et au carbone suie issus du trafic routier** sont supérieurs chez les travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier, en comparaison à ceux observés dans la population de référence. Les risques calculés pour les travailleurs sont de  $0,3 \cdot 10^{-6}$  à  $18 \cdot 10^{-6}$ .

Les risques attribuables **aux expositions à long terme à quatre hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP) en phase particulaire** (anthracène, fluoranthène, phénanthrène, pyrène) **et au benzène issus du trafic routier** sont supérieurs chez les travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier, en comparaison à ceux observés dans la population de référence. Pour ces deux populations (travailleurs et référence), les risques de cancers des voies respiratoires supérieures (HAP) et de leucémies myéloïdes aiguës (benzène) varient de  $1,2 \cdot 10^{-10}$  à  $8,0 \cdot 10^{-7}$  selon le polluant.

### **Pour les polluants avec effets « à seuil », le CES et le GT concluent que :**

Chez les travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier, **l'exposition à court terme au dioxyde d'azote issu du trafic routier** dépasse la valeur sanitaire de référence. Des décès toutes causes sont ainsi susceptibles de survenir de façon anticipée en lien avec l'exposition professionnelle. Il n'y a pas de dépassement de la valeur sanitaire de référence dans la population de référence, non exposée professionnellement. L'exposition des travailleurs est toujours supérieure, d'un facteur 3 à 8 selon les scénarios<sup>6</sup>, à celle de la population de référence.

Dans les deux populations (travailleurs et référence), **l'exposition à long terme au dioxyde d'azote issu du trafic routier** dépasse la valeur sanitaire de référence ce qui signifie que des

<sup>5</sup> Résultant de l'exposition de la mère pendant la grossesse.

<sup>6</sup> Dans la présente expertise, les scénarios d'exposition professionnelle prennent en compte l'exposition pendant le temps de travail (de 7 à 9 heures journalières) et sur le nombre d'années de carrière concerné (de 10 ou 24 ans pour les scénarios atypiques à 40 ans pour les scénarios standards).

décès toutes causes sont susceptibles de survenir de façon anticipée. L'exposition des travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic est toujours supérieure, d'un facteur 2 à 5 selon les scénarios<sup>6</sup>, à celle de la population de référence.

**L'exposition à court terme et à long terme à l'éthylbenzène, à l'ammoniac, à l'antimoine et au baryum** chez les travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier est toujours supérieure, jusqu'à un facteur 11 selon les polluants et les scénarios, à celle de la population de référence. Cependant, au sein des deux populations (travailleurs et référence), l'exposition estimée à ces polluants ne dépasse pas les valeurs sanitaires de référence.

Le CES et le GT rappellent que pour le dioxyde d'azote, les PM<sub>10</sub>, les PM<sub>2,5</sub> et le carbone suie, la population générale est déjà exposée à des niveaux de pollution induisant des risques sanitaires élevés à court terme et à long terme. Les excès de risque observés chez les travailleurs exposés professionnellement à la pollution atmosphérique issue du trafic routier viennent s'ajouter à ces risques.

Il est à noter que les incertitudes ne sont pas quantifiées et doivent être considérées dans l'interprétation. Les incertitudes principales concernent l'identification et la caractérisation des dangers (sélection des polluants fondée sur les données disponibles, incertitudes intrinsèques à l'élaboration des VTR, incluant les VTR adaptées) ainsi que l'estimation des expositions (définition de la population d'étude, utilisation de données de concentrations ambiantes plutôt que des mesures d'exposition individuelle, choix des paramètres d'entrée des scénarios d'exposition). Ces incertitudes sont moindres pour les PM<sub>10</sub>, les PM<sub>2,5</sub>, le carbone suie et le dioxyde d'azote, ce qui améliore la confiance portée dans les résultats pour ces polluants.

- En réponse à la question de l'identification « des déterminants de l'exposition [...] et leurs importances relatives »

Une description qualitative de certains déterminants (liés aux caractéristiques du trafic routier, à l'environnement de travail et à l'activité réalisée) impactant l'exposition a été réalisée (Figure 5). Elle permet une compréhension plus complète des situations d'exposition pouvant affecter les travailleurs professionnellement exposés à la pollution issue du trafic routier (i.e. ayant des activités sur les voies de circulation ou en proximité de trafic).

L'estimation des expositions a été réalisée pour trois circonstances d'exposition professionnelle (extérieur majoritaire, habitacle majoritaire et mixte) incluant les déterminants suivants :

- le fait d'exercer une activité professionnelle en extérieur ou en habitacle ;
- le temps de travail et la durée de vie professionnelle ;
- les niveaux de concentrations des polluants.

Les estimations combinent les caractéristiques des activités professionnelles et les concentrations mesurées dans l'air extérieur. L'utilisation de ces concentrations plutôt que de données d'exposition individuelle permet de prendre en compte davantage de polluants et de situations d'exposition.

Travailler dans l'habitacle d'un véhicule est associé à des niveaux d'exposition plus importants aux polluants issus du trafic routier. Les expositions dans les habitacles ont été estimées à partir des concentrations extérieures et de facteurs de conversion, considérés comme plus fiables pour le dioxyde d'azote, les PM<sub>10</sub>, les PM<sub>2,5</sub> et le carbone suie que pour les autres polluants.

Le scénario standard défini dans le cadre de cette expertise considère une durée de travail moyenne de 7 heures par jour et 5 jours par semaine sur 40 ans, ce qui permet de l'extrapoler à diverses situations professionnelles. Les scénarios atypiques explorés (livreurs de plateformes et conducteurs de taxis ou VTC) présentent des temps de travail annuels 1,5 à 2 fois plus importants, sur une durée plus courte d'exercice de ces professions.

Les centiles 95 des concentrations des polluants à proximité du trafic routier sont jusqu'à 5 fois plus élevés que les médianes pour les polluants considérés dans la caractérisation des risques, illustrant ainsi la variabilité des concentrations auxquelles les travailleurs peuvent être confrontés pendant leur temps de travail.

Le CES et le GT soulignent que d'autres déterminants peuvent constituer des facteurs majorant l'exposition : les caractéristiques du trafic routier, le travail dans des espaces confinés tels que les tunnels, et l'intensité de l'activité physique.

- Appréhension plus globale des risques professionnels.

Le CES et le GT rappellent que les travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier sont concernés par d'autres risques liés à l'activité ou aux environnements : accidents de la route, risques physiques (vibrations, bruit, contraintes thermiques, contraintes posturales...), risques chimiques (émissions liées aux tâches ou aux équipements : gaz d'échappement, poussières...), risques biologiques (pollens, virus, bactéries...) et risques psychosociaux (stress, violences...).

Enfin, le CES et le GT indiquent que parmi les travailleurs exposés professionnellement à la pollution atmosphérique, certains sont particulièrement vulnérables (par exemple, les travailleurs des plateformes de livraison), notamment en raison de leur statut d'indépendants avec un suivi de santé et des mesures de prévention moins systématiques voire inexistantes, auquel peut s'ajouter une double précarité, sanitaire et économique.

### 3.5.2. Recommandations

- Politiques publiques et environnementales

Le CES et le GT rappellent l'importance de renforcer les politiques publiques et environnementales d'amélioration de la qualité de l'air afin de mieux protéger la population des effets sanitaires de la pollution atmosphérique, notamment celle issue du trafic routier. Le CES et le GT insistent sur l'importance d'agir sur les sources polluantes.

- Actions de prévention

Le CES et le GT rappellent que l'employeur est dans l'obligation de prévenir tous les risques présents sur le lieu de travail, incluant la pollution atmosphérique générée ou non par l'activité professionnelle.

Quand une exposition professionnelle à la pollution issue du trafic routier est identifiée, le CES et le GT recommandent :

- aux employeurs, d'intégrer cette pollution dans leur démarche d'évaluation des risques, via le document unique d'évaluation des risques professionnels (DUERP) ;
- aux services de prévention et santé au travail d'intégrer cette pollution dans les fiches d'entreprises. Le CES et le GT soulignent l'importance d'intégrer les travailleurs indépendants à ces démarches considérant leur importante représentation dans certains métiers particulièrement concernés par la problématique de la pollution issue du trafic routier.

Afin de réduire les expositions professionnelles aux polluants atmosphériques issus du trafic routier, le CES et le GT recommandent la mise en œuvre d'actions telles que : éviter si possible le travail en heures de congestion, réduire autant que possible le temps passé sur les voies de circulation ou en proximité de trafic, utiliser des itinéraires alternatifs avec moins de trafic routier ou utiliser les pistes cyclables séparées pour les travailleurs à vélo.

Pour les situations de travail en habitacle, le CES et le GT recommandent de suivre les recommandations existantes de bonnes pratiques qui permettent de diminuer les expositions telles que : i) utiliser le mode recirculation d'air, vitres fermées, dans un embouteillage ou un tunnel, ii) maintenir un espace d'au moins une voiture derrière celle qui précède et iii) remplacer le filtre à air habitacle selon la préconisation du constructeur (Mehel *et al.* 2019 ; Mehel *et al.* 2023 ; Hachem *et al.* 2021).

Afin d'appuyer l'identification de leviers d'actions complémentaires, une analyse qualitative des déterminants et facteurs majorant l'exposition est détaillée dans le rapport d'expertise collective.

#### ■ Suivi d'indicateurs pertinents

En l'état actuel des connaissances et au regard des résultats de l'évaluation des risques, **le CES et le GT recommandent le suivi des expositions des travailleurs au dioxyde d'azote et aux particules**. Le dioxyde d'azote semble être aujourd'hui la substance la plus appropriée en raison de sa spécificité vis-à-vis des émissions à l'échappement et de sa facilité de mesure. Les particules sont quant à elles moins spécifiques du trafic routier et émises par un nombre plus important de sources. Concernant le trafic routier, la mesure des particules couvre la pollution particulaire émise à l'échappement et hors échappement.

L'évaluation des risques s'est appuyée sur les concentrations de particules exprimées en PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> selon les conventions environnementales. Pour le suivi des expositions professionnelles, les concentrations sont mesurées selon les conventions inhalable, thoracique et alvéolaire. Le CES et le GT rappellent donc la nécessité de comparer les concentrations en particules mesurées selon ces différentes conventions (Anses 2023).

Les évolutions du parc automobile, des connaissances sur les effets sanitaires et des capacités de suivi en routine pourraient conduire à actualiser ces recommandations.



■ Acquisition de connaissances et recherche

*Mieux caractériser les expositions*

Pour mieux connaître les métiers concernés par la problématique de la pollution atmosphérique dans le cadre de leurs activités professionnelles, le CES et le GT recommandent :

- i. un recensement des métiers et une caractérisation des populations (effectifs, âges, statuts socio-économiques...);
- ii. une évaluation des expositions individuelles ;
- iii. une meilleure description des activités et des postes de travail, notamment la connaissance des budgets espace-temps-activité au regard des déterminants contextuels et individuels de l'exposition, et des situations « atypiques » d'exposition.

Concernant l'estimation des expositions, le CES et le GT recommandent de :

- compléter les métadonnées contextuelles des stations de mesures de la qualité de l'air, notamment celles décrivant les déterminants clés des concentrations et des expositions mentionnés précédemment tels que le volume du trafic, la densité de population ou la configuration des rues autour des stations ;
- renforcer l'acquisition des données et des connaissances permettant d'évaluer l'exposition à la pollution liée à la présence sur les voies, en habitacle ou en extérieur (par exemple : à pied, à vélo ou à moto). Dans le cas de la conduite en habitacle, cela permettra de préciser les facteurs de conversion et donc les estimations de l'exposition. Cette recommandation intègre à la fois la réalisation de mesures (qui doivent être plus fréquentes en habitacle) et la comparaison de ces mesures à des stations fixes (trafic ou de fond) ;
- continuer le déploiement d'outils de modélisation et cartographie de la pollution atmosphérique à fine échelle spatiale et temporelle.

Le CES et le GT recommandent des développements méthodologiques concernant :

- la mesure des concentrations en air ambiant extérieur pour les polluants suivants : acétaldéhyde, acroléine, aluminium, étain et composés, propionaldéhyde et titane ;
- l'analyse de la forme ou de la spéciation des métaux émis par le trafic routier ;
- l'estimation de la contribution des sources à l'exposition totale tenant compte de l'activité et des émissions et concentrations de polluants.

*Mieux caractériser les risques sanitaires*

Le CES et le GT suggèrent de prendre en compte les expositions professionnelles à la pollution atmosphérique, en extérieur ou en habitacle, dans des études épidémiologiques de grande ampleur afin de confirmer les risques sanitaires attendus pour les travailleurs.

Le CES et le GT suggèrent le développement de valeurs de référence par inhalation pour les polluants n'en disposant pas encore tels que les particules ultrafines et les métaux, notamment en lien avec les formes retrouvées à l'émission à l'échappement ou hors échappement.

Le CES et le GT rappellent l'importance d'améliorer la prise en compte de la polyexposition dans la réalisation des évaluations de risques sanitaires pour les travailleurs et de poursuivre les développements méthodologiques en ce sens.

#### 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 ».

En préambule, l'Agence tient à rappeler que la pollution atmosphérique représente une problématique de santé publique majeure et souligne toute la nécessité de poursuivre les efforts dans la mise en œuvre de politiques publiques de long terme en faveur de l'amélioration de la qualité de l'air. En effet, il est reconnu depuis de nombreuses années que la pollution atmosphérique affecte non seulement la santé respiratoire mais aussi cardiovasculaire. Elle est également classée comme cancérigène pour l'Homme par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) depuis 2012, tout comme les émissions d'échappement des moteurs diesel. Ces conclusions sont issues de preuves apportées par la littérature en population générale et professionnelle. D'autre part, les dernières lignes directrices de l'Organisation mondiale de la santé publiées en 2021 et l'impact sanitaire de la pollution particulaire estimé en France attestent que les expositions à la pollution atmosphérique issue du trafic routier méritent la plus grande attention de tous et tout particulièrement des décideurs politiques.

La présente expertise s'est intéressée à la pollution de l'air issue du trafic routier à laquelle sont exposés les travailleurs exerçant leurs activités sur ou à proximité de voies de circulation. Elle met clairement en évidence que le fait de travailler en extérieur au bord des routes et/ou dans l'habitacle d'un véhicule présente un risque sanitaire supplémentaire par rapport à l'exposition d'une population de référence, non exposée professionnellement, notamment en ce qui concerne les particules fines et le carbone suie. Cette évaluation quantitative des risques sanitaires liés à l'exposition aux particules fines de l'air ambiant a été possible grâce aux récentes valeurs toxicologiques de référence construites par l'Anses qui sont les premières établies pour l'aérosol environnemental (PM<sub>2,5</sub>) et la fraction carbonée (mesure du carbone suie).

En réponse à la question posée, la présente expertise a comparé les risques entre une population de travailleurs et une population de référence. La démarche d'évaluation des risques sanitaires mise en œuvre est basée sur la démarche générale et historique décrite pour la première fois en 1983 par l'Académie des sciences américaines. Ses objectifs diffèrent de ceux de l'évaluation réglementaire des risques professionnels menée par l'employeur. Les VTR exploitées ont été adaptées aux scénarios d'exposition choisis afin de correspondre à des populations exposées (ou non) pendant le temps de travail.

Compte tenu des sur-risques estimés dans cette comparaison, des actions doivent être mises en œuvre afin de réduire l'exposition des travailleurs à la pollution issue du trafic routier. Celle-ci est encore insuffisamment prise en compte dans la démarche d'évaluation des risques professionnels. Elle n'en demeure pas moins une problématique que l'employeur, avec l'appui des services de prévention et de santé au travail, doit intégrer dans son plan d'actions, comme tout risque environnemental quelle qu'en soit la source. En complément, l'Agence invite les préventeurs à se saisir de l'analyse qualitative des déterminants et facteurs majorant l'exposition disponible dans la présente expertise en vue de communiquer sur le terrain, développer des outils de prévention et identifier des leviers d'actions.

De plus, et compte tenu de la diversité des professionnels exposés et dans un objectif de prévention de la santé des travailleurs indépendants, l'Anses encourage l'Etat et les

organismes de protection sociale à mettre en œuvre des actions de sensibilisation à la pollution environnementale en milieu professionnel et notamment la pollution issue du trafic routier.

En appui à une réelle prise en compte de ce facteur de risque en santé au travail, l'Anses recommande enfin de donner une priorité élevée à une révision ou construction de VLEP pour les indicateurs pertinents. D'après la présente expertise, les indicateurs à considérer sont le NO<sub>2</sub> et particules de l'air ambiant. Plus largement, l'Anses souligne l'intérêt de construire des référentiels permettant d'améliorer la gestion des risques sanitaires associés à ces situations d'expositions « environnementales, du fait de l'activité professionnelle » et de contribuer ainsi au décloisonnement de la santé au travail et de la santé environnementale.

L'Anses rappelle plus globalement la nécessité de s'intéresser aux co-expositions ou plus largement à la polyexposition au travail intégrant des facteurs environnementaux, organisationnels et relationnels pour la mise en œuvre de politiques de prévention et d'amélioration de la santé au travail en France.

Pr Benoit Vallet

## MOTS-CLÉS

Trafic routier, pollution atmosphérique, pollution liée à la circulation, exposition professionnelle, évaluation des risques, risques sur la santé

Occupational exposure, occupational health, air pollution, road traffic, traffic-related pollution, risk assessment

## CITATION SUGGÉRÉE

Anses. (2024). Exposition des travailleurs à la pollution de l'air à proximité du trafic routier et ses conséquences sur leur santé (saisine 2021-SA-0039). Maisons-Alfort : Anses, 27 p.

ANNEXES

Tableau A. Concentrations d'exposition estimées au sein des circonstances d'exposition pour la population des travailleurs exerçant sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier et pour la population de référence

				Population de référence		Population des travailleurs				
				N sites de fond (N données)	Circonstance référence	N sites sous influence trafic (N données)	Circonstance extérieur		Circonstance habitacle	
polluant	Unité	Durée d'exposition	Exposition modérée (médiane des concentrations)		Exposition modérée (médiane des concentrations)		Exposition forte (95 centile des concentrations)	Exposition modérée (médiane des concentrations)	Exposition forte (95 centile des concentrations)	
Hydrocarbures	Anthracène*	ng.m <sup>-3</sup>	Journalière (Lun-Ven)	5 (772)	0,2	1 (158)	0,7	1,6	1,5	3,2
	Anthracène*	ng.m <sup>-3</sup>	Annuelle	4 (8)	0,3	1 (2)	0,9	0,9	1,7	1,8
	Benzo(a)anthracène*	ng.m <sup>-3</sup>	Journalière (Lun-Ven)	48 (7 101)	0,0	8 (945)	0,1	0,6	0,2	1,3
	Ethylbenzène	µg.m <sup>-3</sup>	Hebdomadaire + journalière	24 (2 404)	0,3	29 (3 870)	0,4	1,9	0,7	3,5
	Ethylbenzène	µg.m <sup>-3</sup>	Annuelle	25 (85)	0,3	29 (100)	0,5	1,6	0,9	3,0
	Benzène	µg.m <sup>-3</sup>	Hebdomadaire + journalière	32 ( 3534)	0,7	47 (6 513)	0,8	2,4	1,8	5,3
	Benzène	µg.m <sup>-3</sup>	Annuelle	33 (109)	1,0	48 (164)	1,0	2,0	2,2	4,4
	Benzène	µg.m <sup>-3</sup>	Annuelle	33 (109)	1,0	48 (164)	1,0	2,0	2,2	4,4
	Fluoranthène*	ng.m <sup>-3</sup>	Journalière (Lun-Ven)	5 (693)	1,5	1 (156)	2,6	5,0	5,2	10,0
	Fluoranthène*	ng.m <sup>-3</sup>	Annuelle	4 (8)	1,8	1 (2)	2,9	3,2	5,8	6,3
	Phenanthrène*	ng.m <sup>-3</sup>	Journalière (Lun-Ven)	5 (762)	6,2	1 (155)	11,8	21,7	23,6	43,5
	Phenanthrène*	ng.m <sup>-3</sup>	Annuelle	4 (8)	7,2	1 (2)	12,5	13,0	25,0	25,9

				Population de référence		Population des travailleurs				
				N sites de fond (N données)	Circonstance référence	N sites sous influence trafic (N données)	Circonstance extérieur		Circonstance habitacle	
polluant	Unité	Durée d'exposition	Exposition modérée (médiane des concentrations)		Exposition modérée (médiane des concentrations)		Exposition forte (95 centile des concentrations)	Exposition modérée (médiane des concentrations)	Exposition forte (95 centile des concentrations)	
Pyrène*	ng.m <sup>-3</sup>	Journalière (Lun-Ven)	5 (686)	1,1	1 (156)	3,2	6,0	6,4	12,1	
Pyrène*	ng.m <sup>-3</sup>	Annuelle	4 (8)	1,4	1 (2)	3,5	3,6	6,9	7,2	
Baryum*	ng.m <sup>-3</sup>	Journalière (Lun-Ven)	21 (1 965)	3,2	2 (144)	14,7	52,4	26,4	94,3	
Baryum*	ng.m <sup>-3</sup>	Annuelle	6 (15)	11,0	1 (2)	19,0	20,8	34,2	37,4	
Chrome*	ng.m <sup>-3</sup>	Journalière (Lun-Ven)	20 (1 888)	1,0	1 (56)	5,5	16,8	9,8	30,3	
Cuivre*	ng.m <sup>-3</sup>	Journalière (Lun-Ven)	22 (2 279)	6,1	3 (239)	22,9	79,6	41,2	143,2	
Fer*	ng.m <sup>-3</sup>	Journalière (Lun-Ven)	22 (2 279)	183,3	3 (239)	504,5	1989,5	908,1	3581,2	
Manganèse*	ng.m <sup>-3</sup>	Journalière (Lun-Ven)	22 (2 279)	4,2	3 (239)	9,9	36,9	17,9	66,5	
Antimoine*	ng.m <sup>-3</sup>	Journalière (Lun-Ven)	22 (2 278)	0,7	3 (239)	2,3	8,7	4,1	15,6	
Etain*	ng.m <sup>-3</sup>	Journalière (Lun-Ven)	20 (1 902)	1,3	1 (56)	4,0	9,2	7,3	16,5	
Zinc*	ng.m <sup>-3</sup>	Journalière (Lun-Ven)	22 (2 279)	13,0	3 (239)	35,4	148,2	63,6	266,7	
Particules	Carbone suie	µg.m <sup>-3</sup>	Annuelle (Lun-Ven 7-19)	37 (107)	1,1	7 (23)	2,3	5,0	8,1	18,1
	Carbone suie	µg.m <sup>-3</sup>	Journalière (Lun-Ven)	12 (6 289)	1,0	62 (33 684)	2,3	9,2	8,3	32,9
	Particules ultrafines**	p.cm <sup>-3</sup>	Journalière (Lun-Ven)	14 (3 389)	7707,0	2 (412)	9512,5	16112,8	NC	NC



			Population de référence		Population des travailleurs					
			N sites de fond (N données)	Circonstance référence	N sites sous influence trafic (N données)	Circonstance extérieur		Circonstance habitacle		
polluant	Unité	Durée d'exposition		Exposition modérée (médiane des concentrations)		Exposition modérée (médiane des concentrations)	Exposition forte (95 centile des concentrations)	Exposition modérée (médiane des concentrations)	Exposition forte (95 centile des concentrations)	
Particules ultrafines**	p.cm <sup>-3</sup>	Annuelle (Lun-Ven)	10 (10)	8001,8	1 (1)	10278,7	10278,7	NC	NC	
PM <sub>10</sub>	µg.m <sup>-3</sup>	Journalière (Lun-Ven 7-19 )	289 (358 145)	14,7	109 (120 265)	21,1	48,8	38,0	87,8	
PM <sub>10</sub>	µg.m <sup>-3</sup>	Annuelle (Lun-Ven 7-19)	280 (1 418)	16,6	99 (470)	22,3	36,0	40,2	64,7	
PM <sub>2,5</sub>	µg.m <sup>-3</sup>	Journalière (Lun-Ven 7-19)	181 (193 403)	7,1	62 (62 230)	9,1	24,7	32,9	88,8	
PM <sub>2,5</sub>	µg.m <sup>-3</sup>	Annuelle (Lun-Ven 7-19)	172 (756)	8,9	55 (241)	10,5	15,6	37,7	56,2	
Composés inorganiques	Ammoniac	µg.m <sup>-3</sup>	Journalière (Lun-Ven)	7 (2 408)	3,9	1 (90)	5,8	17,1	NC	NC
	Ammoniac	µg.m <sup>-3</sup>	Annuelle	8 (10)	4,6	2 (2)	3,2	3,5	NC	NC
	Dioxyde d'azote	µg.m <sup>-3</sup>	Journalière (Lun-Ven 7-19)	330 (402 543)	11,9	135 (153 769)	32,8	75,4	39,3	90,5
	Dioxyde d'azote	µg.m <sup>-3</sup>	Annuelle (Lun-Ven 7-19)	310 (1 557)	14,4	125 (595)	35,1	64,0	42,1	76,8
	Ions nitrates*	ng.m <sup>-3</sup>	Journalière (Lun-Ven)	22 (4 371)	1111,2	3 (284)	2123,6	14851,7	NC	NC

Lun-Ven : restriction des données sur la période Lundi-Vendredi ; N : nombre ; NC : non calculable ; 7-19 : restriction des concentrations sur le créneau 07h00-19h00. \* Polluants mesurés en phase particulaire, dans la fraction PM<sub>10</sub>. \*\* Nombre de particules avec un diamètre aérodynamique médian entre 7 nm and 1 µm.



---

**Exposition des travailleurs à la pollution de l'air à proximité du trafic routier et conséquences sur leur santé**

---

**Saisine « 2021-SA-0039 Demande d'avis relatif à l'exposition des travailleurs à la pollution de l'air à proximité du trafic routier et ses conséquences sur leur santé »**

**RAPPORT  
d'expertise collective**

**« CES Évaluation des risques liés aux milieux aériens »**

**« GT Exposition des travailleurs à la pollution issue du trafic routier »**

**Juillet 2024**

### **Citation suggérée**

---

Anses (2024). Exposition des travailleurs à la pollution de l'air à proximité du trafic routier et conséquences sur leur santé (saisine n°2021-SA-0039). Maisons-Alfort : Anses, 197 p.

### **Mots clés**

---

Trafic routier, pollution atmosphérique, pollution issue du trafic routier, exposition professionnelle, évaluation des risques sur la santé

Occupational exposure, occupational health, air pollution, road traffic, traffic-related pollution, health risk assessment

## 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.

### GROUPE DE TRAVAIL

---

#### Président

M. Laurent GAGNEPAIN – Coordinateur scientifique et technique (Agence de la transition écologique, service transports et mobilité) – Compétences : émissions échappement et hors échappement des véhicules, qualité de l'air habitacle

#### Membres

Mme Aurélie CHARRON – Chargée de recherche (Université Gustave Eiffel) – Compétences : émissions des transports, particules atmosphériques, qualité de l'air en zones urbaines

Mme Cécile DUCROS – Ingénieure hygiène et sécurité (Commissariat Energie Atomique, Centre de Grenoble) – Compétences : évaluation des risques, métrologie des polluants, évaluation des expositions professionnelles

Mme Virginie DUNEZ – Chargée d'étude air et santé (Cerema, Lille) – Compétences : mesures des polluants atmosphériques, impact des infrastructures routières

M. Williams ESTEVE – Responsable d'études en chimie-physique (Institut National de Recherche et de Sécurité, Laboratoire de Chimie Analytique Organique) – Compétences : métrologie des polluants atmosphériques, hygiène industrielle, physico-chimie des polluants

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

M. Salah KHARDI – Directeur de Recherche (Université Gustave Eiffel) – Compétences : émissions de polluants hors-échappement des transports routiers, impacts sur l'environnement et la santé

Mme Claire LE GALLIOT – Chargée d'expertise en toxicologie (Direction générale de l'armement, Ministère des armées) – Compétences : caractérisation du danger et évaluation du risque, toxicologie, émission des polluants – Démission en juin 2023

M. Fabrice MICHIELS – Médecin du travail / toxicologue (Service de prévention et santé au travail de Corrèze et de Dordogne) – Compétences : médecine du travail, toxicologie

Mme Christelle MONTEIL – Professeure des universités en toxicologie / Directrice adjointe de l'équipe Aliment Bioprocédés Toxicologie Environnement (Université de Rouen, UFR de Santé) – Compétences : effets sanitaires des polluants atmosphériques, toxicologie

## COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ

---

Les travaux, objets du présent rapport ont été suivis et adoptés par le CES suivant :

- CES « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » – Dates : 20 mai 2021, 02 juin 2022, 12 décembre 2022, 9 juin 2023, 3 juillet 2023, 8 mars 2024, 24 avril 2024, 27 mai 2024, 20 juin 2024 et 5 juillet 2024

### 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 – Directeur exécutif (Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air LCSQA) – Spécialités : métrologie et méthode d'analyse des polluants de l'air, émissions industrielles et anthropiques, caractérisation des expositions, construction de stratégies de surveillances dans l'air dans différents contextes

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)  
– Spécialités : 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

Mme Juliette LARBRE – Cheffe du Service des Laboratoires de Santé Environnementale – Spécialités : qualité de l'air intérieur et extérieur, métrologie, santé environnement

Mme 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

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

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 – Responsable du laboratoire d'épidémiologie (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) – Spécialités : évaluation des expositions aux substances chimiques et agents physiques et des risques sanitaires associés.

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

M. Jean-Marc THIBAUDIER – Médecin du travail (Retraité - Mutualité Sociale Agricole des Alpes du Nord) – Spécialités ; santé travail, médecine, agriculture, produits phytosanitaires, poussières agricoles. Démission le 23 février 2023)

---

## **PARTICIPATION ANSES**

---

### **Coordination et contribution scientifique**

Mme Clémence FOURNEAU – Coordinatrice d'expertise scientifique – Anses

Mme Marion KEIRSBULCK – Cheffe de l'Unité Evaluation des Risques liés à l'Air – Anses

M. Matteo REDAELLI – Coordinateur d'expertise scientifique – Anses

Mme Margaux SANCHEZ – Coordinatrice d'expertise scientifique – Anses

### **Secrétariat administratif**

Mme Sophia SADDOKI – Anses

---

## **AUDITION DE PERSONNALITÉS EXTÉRIEURES**

---

### **Directions interdépartementales des routes (DIR) – 5 avril 2023**

M. James LEFEVRE – Directeur adjoint exploitation – DIR Méditerranée (Marseille)

M. Lionel VUITTENEZ – Directeur adjoint – DIR Centre Est (Lyon)

M. Marc CROUZEL – Directeur adjoint – DIR Ile de France (Créteil)

Mme Sylvie PAILLARD – Chargée d'animation des politiques d'entretien exploitation – DIR Sud-Ouest (Toulouse)

M. Thierry MARQUET – Directeur adjoint – DIR Massif central (Clermont-Ferrand).

### **Fédération nationale du transport de voyageurs (FNTV) – 15 juin 2025**

Mme Ingrid MARESCHAL – Déléguée générale

Mme Catherine CHAPELON – Responsable droit social

### **Ville de Paris – 15 janvier 2024**

Mme Amina JEMMAOUI – cheffe de la délégation aux relations sociales et aux politiques de prévention en santé et sécurité au travail à la Mairie de Paris

M. Thomas FURTADO – adjoint à la cheffe.

---

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

---

Le groupe de travail remercie les contributeurs suivants pour la mise à disposition de données :

- Association des Sociétés Françaises d'Autoroutes et d'ouvrages à péage (ASFSA) : Christophe Boutin (Directeur délégué), Sandra Guillou (Responsable de la communication), Cyril Bongibault (Chef de département prévention et santé du personnel APRR et AREA)
- Centre d'Études des Tunnels (CETU) : Antoine Mos (chef du pôle Ventilation-Environnement), Bruno Vidal (Pôle Ventilation Environnement)
- Groupe La Poste : Delphine Desroche (Responsable Prévention Primaire et Dialogue Social) ; Guillaume Chazal (Directeur Prévention Santé Sécurité au Travail)



- Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE) : Pamela Dominutti (Post-Doctorante) et Jean-Luc Jaffrezo (directeur de recherche), Gaelle Uzu (directrice de recherche)
- Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA) – Géod'Air (Ineris) : Marc Durif (directeur), Laurent Létinois (ingénieur d'études, unité Données, applications techniques et acquisition) et Caroline Marchand (responsable, unité Accompagnement à la surveillance de la qualité de l'air et des eaux de surfaces)
- Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE) : François Dulac (chercheur-ingénieur), Valérie Gros (directrice de recherche) et Jean-Eudes Petit (chercheur-ingénieur)
- Métropole de Lyon : Sophie Stebelski (Responsable service prévention Délégation Gestion & Exploitation de l'Espace Public, Direction Ressources)

## SOMMAIRE

<b>Présentation des intervenants .....</b>	<b>3</b>
<b>Sigles et abréviations.....</b>	<b>10</b>
<b>Liste des tableaux .....</b>	<b>11</b>
<b>Liste des figures.....</b>	<b>12</b>
<b>1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise .....</b>	<b>13</b>
1.1 Contexte .....	13
1.2 Objet de la saisine .....	13
1.3 Modalités de traitement.....	14
1.3.1 Moyens mis en œuvre .....	14
1.3.2 Organisation de l'expertise .....	14
1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts .....	15
<b>2 Généralités sur la pollution issue du trafic routier et la santé .....</b>	<b>16</b>
2.1 La pollution atmosphérique issue du trafic routier .....	16
2.2 Une problématique de santé publique.....	18
2.3 Cas des travailleurs exposés à la pollution de l'air .....	20
2.4 Conclusions .....	22
<b>3 Sélection des polluants pour l'estimation des expositions et des risques .....</b>	<b>23</b>
3.1 Identification d'une liste de polluants d'intérêt .....	23
3.1.1 Polluants identifiés dans des travaux antérieurs.....	23
3.1.2 Polluants identifiés par les experts du groupe de travail .....	27
3.1.3 Constitution de la liste de polluants d'intérêt.....	27
3.2 Stratégie de sélection des polluants pertinents pour l'évaluation des expositions et des risques sanitaires.....	29
3.2.1 Définition et documentation des critères de sélection .....	29
3.2.2 Mise en œuvre de la stratégie de sélection .....	32
3.2 Conclusions .....	52
<b>4 Population d'étude .....</b>	<b>56</b>
4.1 Définition de la population d'étude .....	56
4.2 Documentation .....	57
4.3 Description des métiers et activités réalisées sur ou en proximité de trafic routier ..	58
4.4 Conclusions .....	63
<b>5 Évaluation des expositions et caractérisation des risques sanitaires.....</b>	<b>65</b>
5.1 Déterminants de l'exposition des travailleurs .....	65
5.2 Méthode d'évaluation des expositions et caractérisation des risques.....	67
5.2.1 Recueil des données de concentrations pour estimer les expositions .....	67

5.2.2	Scénarios retenus pour estimer les expositions.....	70
5.2.3	Valeurs de référence retenues pour les calculs de risque .....	72
5.2.4	Estimation des expositions et calcul des risques sanitaires .....	73
5.3	Résultats.....	78
5.3.1	Composés inorganiques.....	79
5.3.2	Hydrocarbures.....	82
5.3.3	Métaux .....	89
5.3.4	Particules et leurs composés.....	94
5.4	Conclusion .....	101
5.5	Incertitudes .....	102
<b>6</b>	<b>Conclusions et recommandations.....</b>	<b>106</b>
6.1	Conclusions .....	106
6.2	Recommandations.....	109
<b>7</b>	<b>Bibliographie.....</b>	<b>112</b>
	<b>Annexe 1 : Lettre de saisine .....</b>	<b>122</b>
	<b>Annexe 2 : Données collectées pour documenter la faisabilité de réalisation de l'évaluation des expositions et des risques .....</b>	<b>124</b>
	<b>Annexe 3 : Donnée collectées pour documenter la spécificité vis-à-vis de la source trafic routier et de la population cible.....</b>	<b>141</b>
	<b>Annexe 4 : Trame de questionnaire utilisée lors des auditions et consultations .....</b>	<b>155</b>
	<b>Annexe 5 : Retours des auditions et consultations .....</b>	<b>160</b>
	<b>Annexe 6 : Déterminants de l'exposition des travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier.....</b>	<b>172</b>
	<b>Annexe 7 : Description des données de concentrations recueillies pour estimer les expositions .....</b>	<b>181</b>
	<b>Annexe 8 : Valeurs sanitaires de référence (VSR) retenues et valeurs adaptées pour les calculs de risques (VTR<sub>adaptées</sub>) .....</b>	<b>194</b>
	<b>Annexe 9 : Documentation sur les formes et spéciations des métaux émis par le trafic routier.....</b>	<b>196</b>

## Sigles et abréviations

AASQA	Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air
Ademe	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
Anses	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement, et du travail
Cerema	Centre d'études et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement
CES	Comité d'experts spécialisé
CIRC	Centre international de recherche sur le cancer
COV(NM)	composés organiques volatiles (non méthaniques)
DGITM	Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer
DGS	Direction générale de la santé
DGT	Direction générale du travail
DIR	Directions Interdépartementales des Routes
GT	Groupe de Travail
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
HEI	<i>Health Effects Institute</i>
INRS	Institut National de Recherche et de Sécurité
LCSQA	Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air
NO <sub>2</sub>	Dioxyde d'azote
OMS	Organisation mondiale de la santé
PM	<i>Particulate matter</i>
PM <sub>2,5</sub>	Particules fines
REVIHAAP	<i>Review of evidence on health aspects of air pollution</i>
VTC	Voitures de transport avec chauffeur
VTR	Valeur toxicologique de référence
US EPA	<i>US environmental protection agency</i>

## Liste des tableaux

Tableau 1. Polluants recommandés à prendre en compte dans le volet « air et santé » des études d'impact des infrastructures routières .....	24
Tableau 2. Résultat de la hiérarchisation des polluants prioritaires en vue d'une surveillance menée dans Anses (2018a).....	25
Tableau 3. Illustration des résultats de l'évaluation du poids des preuves épidémiologiques et d'expérimentation animale pour les composés des particules de l'air ambiant (Anses 2019b) .....	26
Tableau 4. Éléments documentés pour évaluer la faisabilité de réalisation de l'évaluation des risques sanitaires pour les polluants d'intérêt .....	30
Tableau 5. Éléments documentés pour évaluer la spécificité du polluant vis-à-vis de la source trafic routier et de la population cible .....	31
Tableau 6. Synthèse des arguments de la stratégie de sélection des polluants pour l'évaluation des expositions et des risques.....	52
Tableau 7. Secteurs, activités et métiers pour lesquels des données ont pu être collectées	57
Tableau 8. Sources documentaires sur les métiers et activités par secteurs .....	57
Tableau 9. Description des métiers dont l'activité principale exposante a lieu dans le trafic routier .....	59
Tableau 10. Description des métiers dont l'activité principale exposante a lieu en bordure de trafic routier .....	60
Tableau 11. Description des métiers avec plusieurs activités exposantes qui se déroulent dans et en bordure de trafic routier .....	61
Tableau 12. Description des activités exposantes pour les métiers avec plusieurs activités exposantes.....	62
Tableau 13. Circonstances d'exposition professionnelle à la pollution issue du trafic routier considérées selon les populations .....	63
Tableau 14. Facteurs comparant les concentrations en habitacles aux concentrations ambiantes extérieurs identifiés au sein de Ravelomanantsoa <i>et al.</i> (2021).....	69
Tableau 15. Hypothèse retenue pour les temps de travail passés sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier dans les circonstances d'exposition .....	71
Tableau 16. Hypothèses retenues pour les estimations de l'exposition à long terme sur l'ensemble de la vie professionnelle .....	72
Tableau 17. Méthode d'estimations quantitatives des niveaux d'exposition pour les populations de travailleurs et de référence dans le cas des polluants disposant de VTR à seuil de dose	74
Tableau 18. Méthode d'estimation quantitative des niveaux d'exposition pour les populations de travailleurs et de référence dans le cas des polluants disposant de VTR sans seuil de dose .....	77
Tableau 19. Synthèse des données disponibles et des analyses menées.....	101

## Liste des figures

Figure 1. Schéma conceptuel des axes de travail de l'expertise .....	15
Figure 2. Émissions de polluants par un véhicule à motorisation thermique (source : ADEME) .....	18
Figure 3. Liste des 35 polluants d'intérêt dans la présente expertise .....	28
Figure 4. Liste des 24 polluants retenus en vue d'une évaluation des risques sanitaires .....	54
Figure 5. Synthèse des données demandées par activité et métier dans le questionnaire ...	58
Figure 6. Direction des impacts de certains déterminants sur les niveaux d'émissions, de concentrations et d'expositions.....	66
Figure 7. Synthèse des quotients de danger (QD) et des excès de risque individuel (ERI) obtenus dans la présente expertise .....	106

# 1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise

## 1.1 Contexte

L'évolution des connaissances scientifiques met en évidence une présence significative dans l'air extérieur de certains polluants, qu'il s'agisse de substances chimiques, de bio-contaminants, de particules ou de fibres pouvant nuire à l'environnement mais aussi à la santé. Ces polluants peuvent être d'origine naturelle ou liés à l'activité humaine. Les transports, et plus particulièrement le trafic routier, constitue une source majeure de pollution atmosphérique.

L'évaluation de l'exposition des travailleurs qui exercent leurs activités professionnelles sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier, constitue un enjeu fort de santé au travail. Cette exposition soulève de nombreuses préoccupations chez ces travailleurs. Elle concerne les employés des secteurs privé et public (par exemple, les agents des Directions Interdépartementales des Routes), quel que soit leur statut, lesquels travaillent régulièrement à proximité du trafic routier : personnels d'exploitation, agents en charge du contrôle des transports routiers, etc.

Il est cependant difficile d'objectiver les niveaux d'exposition à la pollution issue du trafic routier dans un contexte professionnel donné par rapport à la population générale et d'identifier les polluants et les situations pouvant présenter le plus de risques, appelant ainsi des mesures de prévention particulières.

Certains polluants atmosphériques ou leurs combinaisons peuvent être préoccupants au regard de leur impact potentiel sur la santé des personnels travaillant au sein ou à proximité du trafic routier. Le comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail (CHSCT) ministériel s'est donc saisi de cette problématique, à la demande des représentants du personnel.

## 1.2 Objet de la saisine

Dans ce contexte, l'Anses a été saisi le 5 février 2021 par le secrétariat général de la direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM) et la direction générale du travail (DGT) pour répondre aux trois questions suivantes :

- 1) Établir si un excès de risque supplémentaire lié à l'exposition au trafic routier pour les travailleurs est possible par rapport à la population générale et, dans un tel cas, identifier les déterminants de l'exposition associés et leurs importances relatives, en particulier les fréquence et durée de présence sur le réseau routier ou la typologie des lieux de travail (gares routières et entrepôts, tunnels, réseau à fort trafic, etc.).
- 2) Si certains polluants sont générés à la fois par le trafic routier et par l'activité des travailleurs, estimer la contribution de chacune des sources ;
- 3) Identifier plus spécifiquement des indicateurs pertinents à surveiller en lien avec le trafic routier, afin de faciliter l'évaluation de ces risques pour les travailleurs. Une mise

en perspective des méthodes de mesure existantes des différents polluants identifiés et les recommandations pour leur mise en œuvre en fonction des contextes est également attendue.

## 1.3 Modalités de traitement

### 1.3.1 Moyens mis en œuvre

L'Anses a confié au groupe de travail (GT) « travailleurs trafic routier », rattaché au comité d'experts spécialisé (CES) « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » l'instruction de cette saisine. Les travaux d'expertise du groupe de travail ont été soumis régulièrement au CES (tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques). Le rapport produit par le groupe de travail tient compte des observations et des éléments complémentaires transmis par les membres du CES.

Ces travaux sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires.

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) »

### 1.3.2 Organisation de l'expertise

Pour répondre aux questions posées, une organisation reprenant les étapes de la démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires, précédés par une étape de contextualisation, a été mise en œuvre par le GT :

- Généralités sur la pollution issue du trafic routier et la santé
- Sélection des polluants pour l'estimation des expositions et des risques (incluant identification et caractérisation des dangers)
- Définition de la population d'étude
- Évaluation des expositions
- Caractérisation des risques sanitaires

A ces axes s'ajoute une discussion des résultats, apportant notamment des éléments de réponse à la troisième question posée concernant les indicateurs pertinents à surveiller en lien avec le trafic routier.

La deuxième question relative à l'évaluation de la contribution de chacune des sources lorsque les polluants sont générés à la fois par le trafic et par l'activité des travailleurs n'a pas été traitée dans la présente expertise considérant qu'il s'agit d'une question complexe qui nécessite encore l'acquisition de données et la définition de méthodes pour distinguer ces sources.

Les travaux d'expertise s'appuient sur une synthèse et une analyse des données disponibles répondant aux questions identifiées par axe de travail (Figure 1).



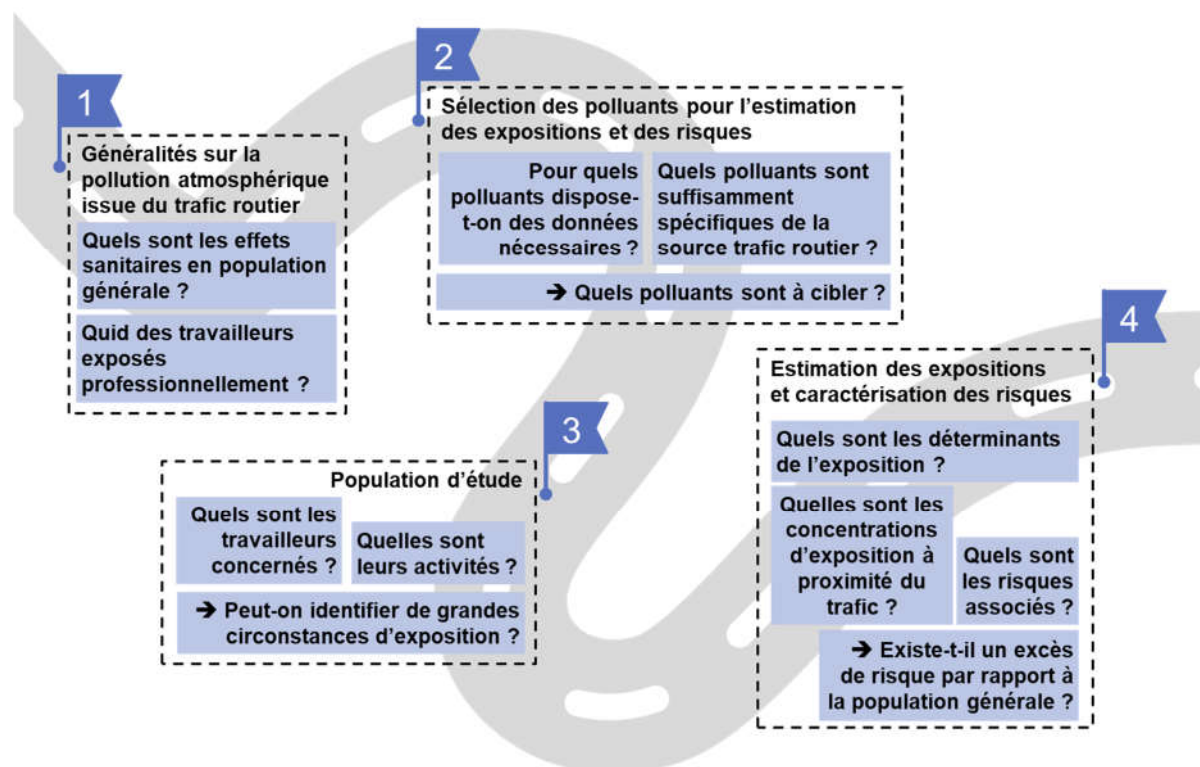


Figure 1. Schéma conceptuel des axes de travail de l'expertise

## 1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts

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. La saisine n°2021-SA-39 fait apparaître un lien d'intérêt induisant un risque potentiel de conflit pour un expert du CES Air. De ce fait, cet expert n'a pas participé à l'examen des travaux découlant de la saisine concernée. Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet <https://dpi.sante.gouv.fr/>.

## 2 Généralités sur la pollution issue du trafic routier et la santé

### 2.1 La pollution atmosphérique issue du trafic routier

La pollution atmosphérique se caractérise par la présence dans l'air extérieur de gaz et de particules qui ont des effets néfastes sur la santé humaine et sur l'environnement. De nombreux secteurs contribuent à la pollution atmosphérique. Le trafic routier représente un enjeu important. En effet, en 2021, les transports routiers étaient responsables de 75 % des émissions totales de cuivre en France, de 48 % des émissions de zinc et de 44 % des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) (Citepa 2023). Les travaux de l'Anses (2019a) ont montré la contribution déterminante du trafic routier dans la qualité de l'air en milieu urbain. En 2017, en France, la part du trafic routier dans les émissions des NO<sub>x</sub>, des particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>) et des COVNM (composés organiques volatiles non méthaniques) était respectivement en moyenne de 40 à 50 %, 10 à 15 % et 2 à 5 % suivant la taille des villes (agglomération ou commune rurale) (ADEME *et al.* 2020).

En France, le trafic routier a augmenté de 1,3 % par an en moyenne de 1990 à 2017, s'est stabilisé de 2017 à 2019 et a chuté en 2020 en raison de la crise sanitaire ; puis il a augmenté en 2021 mais sans atteindre le niveau de 2019 (Citepa 2023; SDES Datalab 2023). Cette augmentation concerne aussi bien les voitures particulières que les bus, les cars et les poids lourds pour le transport de marchandises. Les véhicules les plus modernes (Euro 6) représentent 47 % du trafic total de voitures (hors véhicules utilitaires légers) en 2022 (HBEFA 2022). Les motorisations alternatives (hybrides, hybrides rechargeables et électriques) restent, malgré leur progression, à un niveau très limité : 5 % de la circulation de l'ensemble des voitures en 2022 (SDES Datalab 2023).

La volonté de diminuer les émissions des moteurs des véhicules routiers et leur impact sur la qualité de l'air a suscité depuis une trentaine d'années en France et dans l'Union Européenne un processus continu d'évolution de la réglementation, d'amélioration de la composition des carburants et des groupes motopropulseurs (notamment via l'hybridation et l'électrification), ainsi que le développement de nouvelles technologies de dépollution (systèmes catalytiques, filtres à particules, etc.). Ainsi, depuis les années 1990 les normes de dépollution Euro ont permis de réduire drastiquement les émissions à l'échappement des véhicules neufs, en particulier avec la généralisation des catalyseurs, puis des filtres à particules pour les véhicules Diesel et enfin, la mise en place, il y a une dizaine d'années, d'un protocole d'homologation des véhicules légers (WLTP<sup>1</sup>) garantissant une meilleure adéquation entre les émissions de polluants lors de l'homologation et celles en usage réel (Couvidat *et al.* 2022). Les polluants émis à l'échappement et actuellement réglementés sont : le monoxyde de carbone (CO), les hydrocarbures imbrûlés, les NO<sub>x</sub>, les particules en masse (PM) et les particules solides en nombre de taille supérieure à 23 nm (PN<sub>23</sub>). Les véhicules à motorisations thermiques émettent également de nombreux polluants dits non réglementés : carbone suie, BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes), composés carbonylés, hydrocarbures aromatiques polycycliques, etc. Ces émissions à l'échappement ont également diminué avec la réduction

---

<sup>1</sup> *Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure*

des seuils réglementaires de la norme Euro (Couvidat *et al.* 2022; Louis *et al.* 2016; Leblanc *et al.* 2021).

De nouvelles réductions d'émissions à l'échappement seront de plus en plus difficiles à atteindre pour les véhicules légers ou lourds, qu'ils soient à motorisation essence ou Diesel. Par ailleurs, les particules émises hors échappement par les systèmes de freinage, les pneumatiques ou les chaussées sont devenues prépondérantes par rapport aux émissions à l'échappement des véhicules essence et Diesel équipés d'un filtre à particules (OCDE 2020; Timmers et Achten 2016). D'après le *Joint Research Centre* (JRC) de la Commission Européenne, plus de la moitié des particules générées par le trafic routier en Europe ne proviennent pas des émissions à l'échappement (Martini 2018). Les sources de ces particules hors échappement sont l'usure des freins (estimée entre 16 et 55 % des PM<sub>10</sub> selon les conditions de circulation), l'abrasion des pneus et de la chaussée (5 à 30 %) et la remise en suspension des particules (28 à 59 %). En France, la part des PM<sub>10</sub> du transport routier due à l'abrasion est passée de 19 % en 1990 à 60 % en 2020, pour les PM<sub>2,5</sub> de 11 à 47 % et pour les PM<sub>1,0</sub> de 1,5 à 9 %, en raison principalement de la généralisation du filtre à particules sur les véhicules Diesel, la sortie progressive du parc des véhicules Diesel les plus anciens et à un degré moindre, l'augmentation de la masse des véhicules (ADEME 2022; Citepa 2022). Cette tendance va s'accroître (Air Quality Expert Group 2019) et les émissions globales de particules ne commenceront à baisser qu'après la mise en application de la norme Euro 7 / VII en 2025-2026, avec pour la première fois la définition d'un seuil maximal d'émission (en mg/km) pour les particules issues des systèmes de freinage des véhicules légers (Commission Européenne 2022). Cette norme prévoit également de réglementer, dans un deuxième temps, les émissions de particules issues de l'abrasion des pneus.

Concernant les véhicules électriques, grâce au freinage régénératif, ils émettent moins de particules issues du système de freinage que les véhicules à motorisation thermique. Néanmoins, leur masse étant supérieure à leur équivalent thermique et ceci est d'autant plus vrai que l'autonomie du véhicule électrique est importante, cela impacte la largeur des pneus et donc augmente les émissions de particules pneus / chaussée et celles remises en suspension. Ainsi, on ne note pas un écart significatif d'émissions totales de particules entre les véhicules électriques à forte autonomie et les véhicules thermiques neufs actuels (ADEME 2022).

Enfin, les polluants une fois émis par les véhicules vont se mélanger et interagir entre eux et avec ceux provenant d'autres sources pour former par exemple de l'ozone (O<sub>3</sub>) ou des polluants secondaires. L'ozone se forme en présence des NO<sub>x</sub> et de composés organiques volatiles, sous conditions d'ensoleillement. Il y a un consensus international sur les deux origines les plus importantes de particules ultrafines dans l'atmosphère. Les particules ultrafines se forment dans l'air extérieur à partir de gaz de faible volatilité émis à l'échappement des véhicules Diesel et essence (Charron et Harrison 2003). Elles peuvent aussi provenir de la nucléation de gaz de faible volatilité suite à des réactions photochimiques, mais ces événements sont plus fréquents en zones rurales car plus probables dans des masses d'air peu polluées (Bousiotis *et al.* 2021). Les principaux gaz précurseurs des particules secondaires sont les NO<sub>x</sub> et le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), qui contribuent à la formation de nitrate d'ammonium particulaire et de sulfate d'ammonium, et les composés organiques volatiles et semi-volatils qui sont à l'origine de la formation d'aérosols organiques secondaires (ADEME 2018).

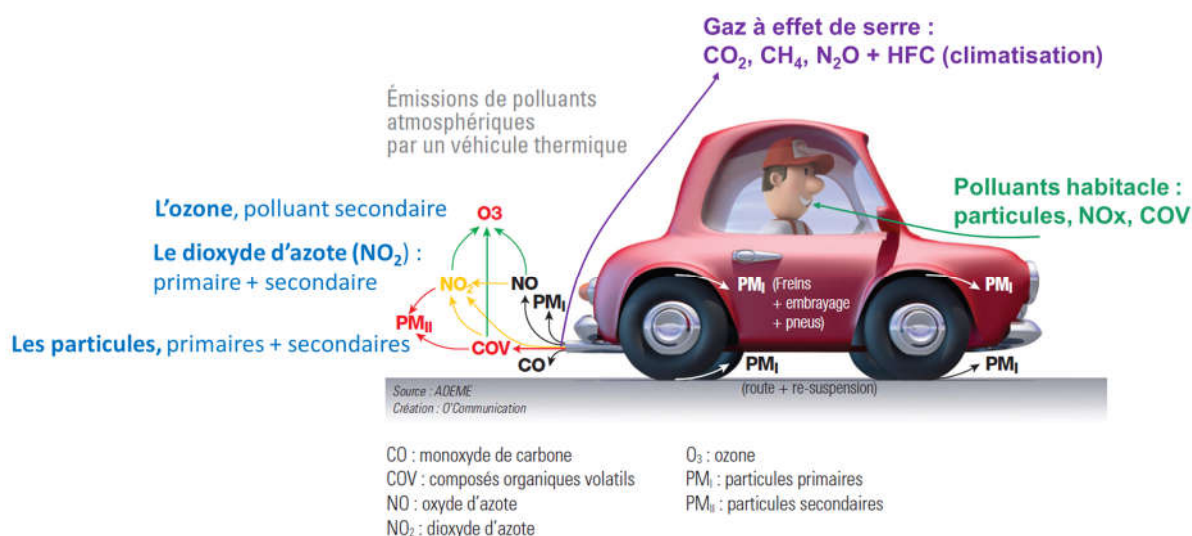


Figure 2. Émissions de polluants par un véhicule à motorisation thermique (source : ADEME)

## 2.2 Une problématique de santé publique

La pollution atmosphérique en milieu urbain se caractérise par la présence dans l'air extérieur de différents gaz et de particules ayant des effets néfastes sur la santé humaine et sur l'environnement. Les risques pour la santé humaine associés à l'exposition à court terme et long terme à la pollution atmosphérique urbaine sont largement documentés en ce qui concerne les décès anticipés, la santé respiratoire et la santé cardiovasculaire. En 2013, le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a classé la pollution de l'air ambiant extérieur dans son ensemble et les particules en suspension composant cette pollution comme cancérigènes pour l'Homme (groupe 1).

En France, il a été estimé que 39 541 (14 160-61 690) décès par an seraient évitables pour une baisse de l'exposition de la population métropolitaine jusqu'à un niveau de concentration en  $\text{PM}_{2.5}$  de  $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  considéré comme non anthropique (Medina *et al.* 2021), ce qui représenterait en moyenne 7,6 (2,6-12,1) mois d'espérance de vie gagnés (pour une personne âgée de 30 ans). Une part importante de cet impact en termes de mortalité et d'espérance de vie se concentre dans les zones urbaines les plus polluées et les plus densément peuplées. En effet, 60 % des décès évitables concernent la population résidant dans les communes urbaines et semi-urbaines de plus de 20 000 habitants et le gain moyen en espérance de vie s'étend de 5,9 mois dans les communes rurales à 8,7 mois dans les communes urbaines (pour une personne âgée de 30 ans). En 2015, le coût sanitaire et non sanitaire de la pollution par les  $\text{PM}_{2.5}$  était estimé à au moins 75 milliards d'euros par an (Md€/an) au niveau national, et le bénéfice net de la lutte contre la pollution de l'air associé au respect des plafonds d'émission nationaux était estimé à 11 Md€ par an (Husson *et al.* 2015).

Bien que l'influence du trafic routier sur la pollution atmosphérique urbaine diminue sur ces dernières décennies, le trafic routier fait toujours partie des principaux contributeurs à cette pollution et à ses effets potentiels sur la santé. Par exemple, Daellenbach *et al.* (2020) ont montré que les aérosols organiques primaires émis par le trafic routier représentent avec les aérosols organiques secondaires d'origine anthropique, les principaux contributeurs à l'exposition de la population au potentiel oxydant des  $\text{PM}_{2.5}$  dans les zones densément peuplées en Europe.

Concernant spécifiquement les effets sur la santé de la pollution atmosphérique issue du trafic routier, il existe une large littérature sur la nocivité des effluents d'échappement des moteurs Diesel et des particules Diesel et des effluents d'échappement des moteurs à essence. En 2012, le CIRC a classé les émissions d'échappement des moteurs Diesel comme cancérigènes pour l'Homme (groupe 1) et les émissions d'échappement des moteurs à essence comme possiblement cancérigènes pour l'Homme (groupe 2B).

En 2013, la revue de l'organisation mondiale de la santé (OMS) REVIHAAP (*Review of evidence on health aspects of air pollution*) concluait à des preuves suffisantes d'effets sur la santé du carbone suie (émis majoritairement par les véhicules Diesel non équipés d'un filtre à particules dans la plupart des environnements urbains) et à des associations probables avec les PM<sub>2,5</sub> liées au trafic routier, et avec les poussières présentes sur les routes (incluant celles issues de la source crustale<sup>2</sup>) (OMS Europe 2013).

En 2019, l'Anses a publié un rapport intitulé « Effets sanitaires des particules de l'air ambiant extérieur selon les composés, les sources et la granulométrie » (Anses 2019b). Les résultats de cette revue de la littérature et de l'évaluation détaillée de la qualité de 160 publications et de leurs biais potentiels ont fourni les conclusions suivantes établies à partir des études incluses investiguant les effets sur la santé de l'exposition, à court et long termes, à la pollution par les particules issues spécifiquement du trafic routier :

*Les nouvelles indications accumulées depuis REVIHAAP, de fortes à modérées selon la catégorie de source, confirment l'effet sanitaire de la source « trafic routier » dans son ensemble sur la base de corpus d'études humaines présentant un bon niveau de confiance et examinant de nombreuses catégories d'effets. Les corpus pour le carbone suie lié au trafic routier, les particules d'échappement Diesel et les particules d'échappement essence étaient néanmoins de petite taille. Confortant ces résultats, les indications accumulées depuis REVIHAAP sur la base des études d'expérimentation animale sont faibles à modérées concernant les effets respiratoires (lésions ultra structurales, fonction respiratoire, remodelage pulmonaire) et cardiovasculaires (fonction vasculaire, coagulation, lésions d'athérosclérose) des PM<sub>2,5</sub> liées au trafic routier et des particules d'échappement Diesel. Les niveaux d'indications sanitaires les plus élevés chez l'Homme sont obtenus pour le carbone suie lié au trafic routier (sur la santé respiratoire, la santé cardiovasculaire, et la mortalité toutes causes) et les poussières de routes (sur la santé respiratoire), d'après des corpus larges. Les nouvelles indications accumulées depuis REVIHAAP sont modérées et suggèrent un effet à long terme des PM<sub>2,5</sub> issues du trafic routier sur la santé neurologique et la santé périnatale, deux catégories sanitaires non évoquées dans REVIHAAP. Les conclusions pour la catégorie de source « trafic routier » sont cohérentes avec les indications obtenues pour certains composés évalués individuellement, tels que le carbone suie, le carbone organique et certains métaux. Indépendamment du corpus d'études analysées sur les effets des particules de l'air ambiant extérieur issues du trafic routier, il existe une large littérature, non évaluée ici, sur la nocivité des effluents d'échappement des moteurs Diesel et des particules Diesel (exposition classée cancérigène par le CIRC) et des effluents d'échappement des moteurs à essence (exposition classée cancérigène probable par le CIRC).*

En 2022, le *Health Effects Institute* (HEI) a publié un rapport sur les effets sur la santé de l'exposition à long terme à la pollution atmosphérique issue du trafic routier (HEI panel 2022).

---

<sup>2</sup> Les poussières crustales sont des poussières terrigènes d'origine naturelle.



Les résultats de la revue systématique, des méta-analyses et de l'évaluation de la qualité des 353 études incluses et de leurs biais potentiels ont fourni un niveau global de confiance fort, ou modéré à fort, dans une association entre l'exposition à long terme et plusieurs indicateurs d'effets néfastes sur la santé chez l'adulte et l'enfant. Chez l'adulte en particulier, les indicateurs concernés étaient les décès toutes causes (niveau de confiance fort), les décès de causes cardiovasculaires (niveau de confiance fort), les décès par pathologie cardiaque ischémique (niveau de confiance fort), les décès par cancer du poumon (niveau de confiance modéré à fort) et l'asthme incident (niveau de confiance modéré à fort). Le niveau global de confiance était modéré, faible ou très faible pour les autres indicateurs sélectionnés portant sur la santé respiratoire, cardiovasculaire et néonatale.

Les principales conclusions du rapport de l'HEI sont dérivées d'études menées alors que les niveaux d'exposition étaient généralement plus élevés que les niveaux actuels dans les pays à haut revenu. Les émissions d'échappement des véhicules à moteur et les concentrations ambiantes de la plupart des polluants mesurés liés au trafic ont diminué régulièrement au cours des dernières décennies. Compte tenu du grand nombre d'individus exposés à la pollution atmosphérique issue du trafic routier, à la fois au sein de l'environnement proche de la route et au-delà, les auteurs du rapport ont conclu que « le niveau global de confiance élevé, ou modéré à élevé, dans les preuves d'une association entre l'exposition à long terme à la pollution atmosphérique issue du trafic routier et plusieurs indicateurs d'effet néfaste indiquent que les expositions à la pollution atmosphérique issue du trafic routier restent un problème de santé publique important et méritent une plus grande attention de la part du public et des décideurs politiques ».

## 2.3 Cas des travailleurs exposés à la pollution de l'air

### ■ Apport de la littérature en population générale à la littérature en populations professionnelles

Les rapports et les sources mentionnés précédemment reconnaissent les effets néfastes de la pollution atmosphérique, en particulier celle issue du trafic routier, sur la santé. Cependant, ils concentrent leurs efforts de recherche et d'évaluation sur la littérature examinant la population générale, plutôt que sur des groupes professionnels spécifiques.

Les études portant sur les travailleurs exposés professionnellement à la pollution atmosphérique incluent généralement un nombre plus limité d'individus, issus d'une profession spécifique. Les événements de santé étudiés sont souvent infra-cliniques tandis que les expositions peuvent être estimées de manière individuelle, à l'aide de capteurs portés par les travailleurs.

Ainsi, les preuves apportées par la littérature sur les populations professionnelles, qui apparaissent limitées et hétérogènes, peuvent être considérablement enrichies par celles issues de la littérature portant plus globalement sur la population générale.

### ■ État des lieux de la littérature examinant l'exposition professionnelle à la pollution issue du trafic routier

Le HEI panel (2010) considérait que les données disponibles étaient parcellaires et recensait des études limitées par une approche par métier, incluant de petits échantillons, sans prise en compte totale des facteurs confondants et ne considérant que des marqueurs infra-cliniques de détérioration de la santé. Les métiers étudiés incluaient les officiers de police (gestion de

la circulation ou contrôles des véhicules), les péagers sur autoroutes et dans les tunnels, les vendeurs ambulants et les agents de nettoyage des rues. Plus récemment, le HEI panel (2022) et le CIRC (2015) mentionnaient d'autres travailleurs particulièrement exposés à la pollution issue du trafic routier : les conducteurs de véhicules (taxi, bus, poids lourds) et les travailleurs de la distribution (repas, courriers ou marchandises).

La littérature sur l'exposition professionnelle à la pollution issue du trafic est pourtant large et potentiellement complémentaire de celle concernant la population générale. Certaines études chez les travailleurs exposés professionnellement peuvent, par exemple, être utilisées ponctuellement pour décrire des mécanismes d'action spécifiques, comme proposé dans HEI panel (2022). Le HEI panel (2010) soulignait, sans l'exploiter, l'existence d'une vaste littérature épidémiologique sur le cancer dû à l'exposition professionnelle aux composants des émissions des véhicules, notamment le benzène et les gaz d'échappement des moteurs Diesel. Pour soutenir ses conclusions sur la cancérogénicité de la pollution atmosphérique, le CIRC (2015) exploitait en effet des résultats observés dans des populations professionnellement exposées aux composés de la pollution issue du trafic routier.

### ■ Éléments de réglementation et de prévention en santé au travail

Selon le Code du Travail, l'employeur a l'obligation de garantir la sécurité et de protéger la santé physique et mentale des travailleurs (articles L. 4121-1 à L. 4121-5). L'employeur est tenu d'identifier et d'évaluer les risques professionnels et de retranscrire les résultats de cette évaluation dans le « Document Unique d'Évaluation des Risques Professionnels » (DUERP) de l'entreprise. Celui-ci vise à établir un inventaire des risques identifiés à l'échelle d'unité de travail de l'entreprise ou de l'établissement en vue de la définition d'un plan d'actions de prévention. Il existe également des dispositions réglementaires pour le contrôle de l'exposition des travailleurs qui reposent sur la mesure d'agents chimiques dangereux présents dans l'atmosphère des lieux de travail notamment faisant l'objet de valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) (article R4412-149). Des composants de la pollution atmosphérique disposent de VLEP. Par ailleurs, les mesures d'expositions professionnelles suivent des conventions différentes<sup>3</sup> des mesures d'expositions environnementales, notamment pour les particules (Anses 2023).

La pollution de l'air constitue un facteur de risque environnemental pour les travailleurs exerçant leurs activités à proximité du trafic routier ou sur les axes routiers. Même lorsque les émissions à l'origine de la pollution atmosphérique ne sont pas directement générées par l'activité professionnelle, l'article R4412-3 du code du travail précise bien dans son alinéa 2 que les dispositions relatives à la maîtrise du risque chimique concernent « Tout agent chimique qui [...] peut présenter un risque pour la santé et la sécurité des travailleurs en raison de ses propriétés physico-chimiques, chimiques ou toxicologiques et des modalités de **sa présence sur le lieu de travail** ». Ainsi, l'employeur doit prendre en compte, dans son document unique, toutes les expositions auxquelles ses salariés sont susceptibles d'être confrontés au cours de leur activité professionnelle.

---

<sup>3</sup> Ces conventions ont été établies pour l'échantillonnage sélectif en taille des particules en suspension dans l'air. La surveillance dans l'air ambiant prend communément en considération les fractions particulaires appelées PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> (norme NF EN 12341) qui permettent de caractériser la concentration massique dans l'air exprimée en général en µg.m<sup>-3</sup>. La surveillance des expositions professionnelles prend en considération différentes fractions particulaires : inhalable, thoracique et alvéolaire, qui permettent de caractériser la concentration massique dans la zone de respiration d'un travailleur exprimée en général en mg.m<sup>-3</sup>. Ces fractions sont définies en relation avec la probabilité de pénétration des particules dans le tractus respiratoire, cette probabilité étant croissante avec la diminution de la taille des particules.

Si les fiches métiers médico-professionnelles de Présance<sup>4</sup> relatives aux métiers identifiés dans la littérature comme particulièrement exposés à la pollution atmosphérique (conducteurs de bus, ripeurs et chauffeurs poids lourds) ne mentionnent pas spécifiquement l'exposition à la pollution atmosphérique, elles citent les « maladies de l'appareil respiratoire » comme effets sanitaires potentiels en cas « d'espace de travail proche d'une voie de circulation ». Les gaz d'échappement et leurs émissions sont mentionnés dans les matrices emploi-exposition de plusieurs métiers en lien avec les travaux publics. A l'instar de tous les autres risques professionnels, la « pollution environnementale urbaine » dispose sur ce même site d'une fiche de nuisance. Les recommandations liées à ce risque ne portent pas sur la prévention des émissions, mais sur des mesures d'adaptation visant à limiter l'exposition. Enfin, dans un dossier dédié à la démarche de prévention des risques routiers, l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) a listé la pollution urbaine et les gaz d'échappement parmi les principaux risques (autres que l'accident) liés à la conduite de véhicule (INRS 2023).

## 2.4 Conclusions

L'impact sanitaire de la pollution atmosphérique, notamment celle issue du trafic routier, n'est plus à démontrer. Cet état de fait préoccupe certains travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulations ou à proximité du trafic routier, en extérieur ou dans l'habitacle de leur véhicule, qui s'interrogent sur leurs niveaux d'exposition par rapport à la population générale *i.e.* n'exerçant pas une activité professionnelle à proximité ou dans le trafic routier. La pollution atmosphérique étant un facteur de risques d'origine environnementale, elle est encore insuffisamment prise en compte dans l'inventaire et l'évaluation des expositions liées aux activités professionnelles. Elle n'en demeure pas moins une problématique que l'employeur, avec l'appui des services de prévention et de santé au travail, doit intégrer dans son plan d'actions, comme il doit le faire pour tout risque environnemental (par exemple : radon, ultraviolet solaires et bruit – quelle qu'en soit la source).

---

<sup>4</sup> Fiches médico-professionnelles : <https://www.fmppresanse.fr/>



## 3 Sélection des polluants pour l'estimation des expositions et des risques

Ce chapitre présente la démarche mise en œuvre par le GT pour déterminer les polluants à considérer en vue d'évaluer les expositions et les risques pour la population professionnellement exposée à la pollution issue du trafic routier.

Cette démarche repose sur deux étapes : l'identification d'une liste de polluants d'intérêt dans le cadre de la présente expertise (chapitre 3.1) suivie de la sélection des polluants jugés les plus pertinents au regard des enjeux de l'expertise (chapitre 3.2).

### 3.1 Identification d'une liste de polluants d'intérêt

Les polluants d'intérêt dans le cadre de la présente expertise sont les polluants générés par le trafic routier, à l'échappement ou hors échappement, et susceptibles d'impacter la santé des populations qui y sont exposées<sup>5</sup>. Il s'agit également de polluants pour lesquels le niveau actuel de connaissances est jugé suffisant en vue de réaliser une évaluation des risques sanitaires. L'identification de ces polluants est fondée sur l'analyse de travaux institutionnels antérieurs et sur le jugement d'expert des membres du groupe de travail en s'appuyant sur la littérature scientifique et technique.

Seuls les polluants générés par le trafic routier qui sont émis dans l'air ambiant ont été considérés dans la liste d'intérêt. Les polluants générés et émis à l'intérieur des habitacles, par exemple certains composés organiques volatils (COV) spécifiquement émis par la dégradation des revêtements intérieurs, n'ont pas été considérés comme d'intérêt. Ces polluants peuvent néanmoins s'accumuler dans les habitacles des véhicules, exposant les occupants par ce biais.

#### 3.1.1 Polluants identifiés dans des travaux antérieurs

##### 3.1.1.1 Travaux relatifs aux polluants à prendre en compte dans les études d'impact des infrastructures routières

Le guide méthodologique sur le volet « air et santé » des études d'impact routières proposé par le Cerema (2019) précise les polluants à prendre en compte lors de la réalisation d'une évaluation des risques sanitaires pour les projets routiers avec les plus fortes densités de trafic prévisionnel et dans les zones les plus densément peuplées (Tableau 1).

Cette liste se base sur :

- d'une part, des travaux de Anses (2012) relatifs à la sélection des polluants à prendre en compte dans les évaluations des risques sanitaires. Parmi 325 polluants recensés en lien avec les infrastructures routières et leurs utilisations (émissions par les véhicules, usure des équipements et entretien des véhicules et de

---

<sup>5</sup> Une exposition représente la concentration ou quantité d'une nuisance (chimique, biologique ou physique) entrant en contact avec une cible (organisme, (éco-)système ou population) à une fréquence donnée et dans un intervalle de temps défini.

l'infrastructure routière), 16 polluants ou famille de polluants avaient été recommandés pour prise en compte dans les études d'impact des infrastructures routières (Tableau 1). Cette liste avait été obtenue après calcul d'un indice de hiérarchisation fondé sur la comparaison d'une valeur toxicologique de référence (VTR), lorsque disponible, à des données moyennes d'émissions ou de concentrations dans l'air ambiant. Cet indice traduit l'existence d'un enjeu potentiel en terme d'impact sur la santé humaine lorsque les scénarios d'exposition majorants, aigu et chronique, amènent à des dépassements de VTR.

- d'autre part, des travaux complémentaires menés par différents experts d'horizons divers relatifs à l'analyse des recommandations de Anses (2012) à la lumière d'éléments d'expertises techniques et opérationnels de mise en œuvre (robustesse des données d'entrée, faisabilité des mesures et interprétation des résultats) (Cerema 2018; Certu-Cete de Lyon 2013). L'Anses avait par ailleurs été sollicitée pour produire une note d'appui scientifique et technique sur ces travaux (Anses 2018c).

**Tableau 1. Polluants recommandés à prendre en compte dans le volet « air et santé » des études d'impact des infrastructures routières**

Exposition*	Voie	Polluants à retenir selon Cerema (2019) (sur la base de Anses (2012) et Certu-Cete de Lyon (2013))	Polluants recommandés par Anses (2012) (sur la base d'un indice de hiérarchisation des potentiels enjeux sanitaires)	
Aiguë	Respi-ratoire	Particules (PM <sub>10</sub> et PM <sub>2,5</sub> ) Dioxyde d'azote	Particules (PM <sub>10</sub> et PM <sub>2,5</sub> ) Dioxyde d'azote	
Chronique	Respi-ratoire	Particules (PM <sub>10</sub> et PM <sub>2,5</sub> ) Dioxyde d'azote Benzène 16 HAP** 1,3-butadiène Chrome VI Nickel Arsenic	Particules (PM <sub>10</sub> et PM <sub>2,5</sub> ) Dioxyde d'azote Acétaldéhyde Acroléine Ammoniac Arsenic Benzène Chrome	Ethylbenzène Formaldéhyde Naphtalène Nickel Propionaldéhyde 16 HAP** 1,3-butadiène
	Orale	16 HAP**	16 HAP** Famille des dioxines et furanes***	

\* Une exposition aiguë est généralement estimée sur quelques heures ou jours. Une exposition chronique fait généralement référence à plusieurs mois voire années. \*\* Acénaphène, acénaphylène, anthracène, benzo[a]anthracène, benzo[a]pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, chrysène, dibenzo(a,h)anthracène, fluorène, fluoranthène, indéno(1,2,3-cd)pyrène, phénanthrène, pyrène et benzo(j)fluoranthène. \*\*\* Famille des tétrachlorodibenzodioxines, pentachlorodibenzodioxines, hexachlorodibenzodioxines, heptachlorodibenzodioxines, octachlorodibenzodioxines, tétrachlorodibenzofuranes, pentachlorodibenzofuranes, hexachlorodibenzofuranes et heptachlorodibenzofuranes.

### 3.1.1.2 Travaux identifiant les polluants de l'air ambiant non réglementés à prioriser pour une surveillance

En 2018, l'Anses a identifié et hiérarchisé des polluants présents dans l'air ambiant non pris en compte à ce jour par la réglementation, appelés « polluants émergents » (Anses 2018a). La méthode de hiérarchisation se déclinait en quatre étapes : identification des polluants potentiellement d'intérêt, catégorisation des polluants en fonction des données disponibles, hiérarchisation des polluants puis identification et description des sources d'incertitudes. La méthode de hiérarchisation reposait, entre autres, sur la comparaison d'une VTR, lorsqu'elle

était disponible, à des données de concentrations dans l'air ambiant issues de situation de fond, de proximité trafic et de proximité industrielle. Cette comparaison traduit l'existence d'un enjeu potentiel en terme d'impact sur la santé humaine lorsque les scénarios d'exposition considérés amènent à des dépassements de VTR.

A l'issue de la première étape, 557 polluants étaient recensés. Parmi eux, 13 polluants ont été catégorisés comme prioritaires pour une hiérarchisation en vue d'une surveillance dont 9 sont émis entre autres par le trafic routier (Tableau 2).

**Tableau 2. Résultat de la hiérarchisation des polluants prioritaires en vue d'une surveillance menée dans Anses (2018a)**

N°	Polluant	N°	Polluant	N°	Polluant
1	1,3-butadiène	6	Cuivre	11	Naphtalène
2	Manganèse	7	Trichloréthylène	Non classé*	Particules ultrafines
3	Sulfure d'hydrogène	8	Vanadium	Non classé*	Carbone suie
4	Acrylonitrile	9	Cobalt		
5	1,1,2-trichloroéthane	10	Antimoine		

*Les polluants émis par le trafic routier sont identifiés en gris. \* Ces polluants n'ont pas pu être hiérarchisés selon la méthode retenue car ils ne disposaient pas de valeur toxicologique de référence (entrant dans le calcul de l'indice de hiérarchisation) au moment des travaux.*

### 3.1.1.3 Travaux évaluant le poids des preuves de la littérature sur les effets sanitaires des particules de l'air ambiant

En 2019, l'Anses publiait son évaluation du poids des preuves épidémiologiques et toxicologiques sur les effets sanitaires des particules de l'air ambiant selon les composés, les sources et la granulométrie (Anses 2019b). L'Anses concluait à des niveaux d'indication sanitaire pour plusieurs composés des particules dont certains sont émis par le trafic routier. Ces niveaux d'indication reflètent la plausibilité de l'hypothèse d'un lien de causalité entre une exposition et une catégorie d'effet sanitaire, sur la base de l'analyse des preuves contenues dans la littérature et publiées depuis le rapport REVIHAAP (OMS Europe 2013). Un niveau d'indication sanitaire « fort », « modéré » ou « faible » traduit une confiance élevée, modérée ou faible dans les résultats d'association observés entre un composé des particules (par exemple, le carbone suie) et une catégorie d'évènements néfastes pour la santé (par exemple, les évènements affectant la santé cardiovasculaire).

A partir des travaux épidémiologiques publiées après REVIHAAP, des niveaux d'indication sanitaire « forts » étaient trouvés pour le carbone suie et le carbone élémentaire, le carbone organique, certains aérosols inorganiques secondaires (sulfate et nitrate) et certains métaux (nickel, vanadium et fer) (Tableau 3). Des indications sanitaires « modérées » étaient retrouvées pour les particules grossières, les particules ultrafines, le zinc, la silice et les endotoxines.

A partir des études d'expérimentation animale publiées après REVIHAAP, des niveaux d'indication « modérés » étaient trouvés pour les matières carbonées (incluant carbone suie), les particules ultrafines et le nickel, ce qui tend à conforter les effets sanitaires observés chez l'humain. Concernant le sulfate, le nitrate, le fer, le vanadium et le zinc, les niveaux d'indication étaient néanmoins « faibles » ou « inadéquats ». Le niveau « inadéquat » traduit une confiance trop faible dans les preuves pour pouvoir conclure sur la présence d'une association entre le composé et un effet néfaste sur la santé.

Tableau 3. Illustration des résultats de l'évaluation du poids des preuves épidémiologiques et d'expérimentation animale pour les composés des particules de l'air ambiant (Anses 2019b)

Composé	Dans REVIHAAP :		Depuis REVIHAAP jusqu'en février 2016 :	
	Niveau de preuve rapporté	Associations rapportées <sup>†</sup>	Niveau d'indication sanitaire <sup>θ</sup> le plus élevé (nombre de publications)	
Particules ultrafines (<100 nm)	Preuves encore limitées	Oui		Modéré (14) (+Exp.*)
Particules grossières (PM <sub>2,5-10</sub> )	Preuves suggestives	Oui		Modéré (44)
Matières carbonées	Carbone suie, carbone élémentaire	Preuves suffisantes		Fort (78) (+Exp.*)
	Carbone organique	Informations croissantes		Fort (37) (+Exp.*)
	AOS (facteur source <sup>€</sup> )	∅		Inadéquat (7) (+Exp.*)
	HAP	∅	∅	Faible (4)
Aérosols inorganiques secondaires	AIS (facteur source <sup>€</sup> )	∅		Faible (6)
	Sulfate	∅		Fort (48)
	Nitrate	∅		Fort (25) (+Exp.*)
	Ammonium	∅	∅	Faible (14)
Métaux de transition	Nickel	∅		Fort (34) (+Exp.*)
	Zinc	∅		Modéré (31)
	Cuivre	∅		Faible (31)
	Vanadium	∅		Fort (32)
	Fer	∅	∅	Fort (31)
Silice	∅	∅		Modéré (30)
Endotoxines	∅	∅		Modéré (5)
Potentiel oxydant	∅	∅		Faible (6)

mortalité toutes causes santé respiratoire santé cardiovasculaire hospitalisations toutes causes. <sup>θ</sup> Le niveau d'indication d'effet sanitaire permet de savoir si l'association observée entre un composé donné des particules de l'air ambiant et une catégorie sanitaire d'intérêt (par exemple, santé cardiovasculaire) est fortement, modérément ou faiblement plausible. Il peut aussi être conclu qu'un composé n'a pas d'effet sur la santé ou bien que les éléments disponibles dans la littérature sont inadéquats pour conclure. \* Les conclusions basées sur les études d'expérimentation animale soutiennent ces indications. † Oui si association rapportée, non si absence d'association rapportée, ∅ si non rapportée. § Les associations rapportées ne concernent pas spécifiquement cet élément et incluent d'autres métaux de transition en mélanges. € Défini selon une méthode statistique de répartition des composés en catégories ou sources (par exemple, factorisation de matrice positive). Abréviations : AIS : Aérosols Inorganiques secondaires ; AOS : Aérosols organiques secondaires ; HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.

L'Anses précisait dans son évaluation qu'il ne peut être exclu que les niveaux d'indications sanitaires obtenus pour un composé ou une source soient le reflet d'autres composés émis ou formés avec lui, notamment dans le cadre des études observationnelles (dont l'exposition n'est pas contrôlée). Il est en particulier difficile de distinguer les effets individuels des métaux de transition en raison de la forte corrélation des concentrations mesurées, liée à leurs sources communes : l'usure des freins et des pneus (fer, zinc et cuivre) et l'industrie ou la combustion (nickel, vanadium et fer). Ainsi, les indications sanitaires obtenues pour les métaux, considérés individuellement dans la démarche d'évaluation du poids des preuves, peuvent tout à fait témoigner de l'effet sanitaire de leurs sources communes ou des métaux en mélange. Il était

également indiqué que les niveaux d'indications sanitaires des sulfates et nitrates des particules de l'air ambiant pourraient refléter la capacité de ces composés à moduler la toxicité des particules dans leur ensemble ou refléter l'effet sanitaire d'une source, telle que la combustion de charbon (émettrice de sulfate), plutôt que leur toxicité intrinsèque.

### 3.1.2 Polluants identifiés par les experts du groupe de travail

En complément des polluants évoqués dans les travaux antérieurs relatifs à la pollution atmosphérique, quatre métaux (aluminium, baryum, étain et fer) sont considérés par les experts du groupe de travail comme d'intérêt à ce stade, notamment car ils sont soit identifiés dans la littérature comme marqueurs des émissions hors échappement du trafic routier, soit fortement émis par le trafic routier.

L'aluminium, le baryum et l'étain sont des métaux utilisés dans la construction de certains équipements automobiles (et poids lourds) et des infrastructures routières. Ils peuvent ainsi être émis par le trafic routier suite à l'usure des plaquettes de freins (aluminium, baryum, étain), des disques de freins (aluminium, étain) et de la chaussée (aluminium).

Des données de mesure connues *a priori* des experts montrent des concentrations en aluminium proches de celles du fer en bords de routes sous circulation (Beji *et al.* 2023). D'autres données montrent des concentrations en situation trafic supérieures à celles du fond urbain pour le baryum (Charron *et al.* 2019) et le baryum est considéré comme un traceur des émissions du trafic routier dans la communauté scientifique internationale (Harrison *et al.* 2021; Piscitello *et al.* 2021). Enfin, les concentrations d'étain en bordure de routes sous circulation sont généralement fortement corrélées à celles du cuivre, du fer et du manganèse, tous trois par ailleurs identifiés comme d'intérêt (Charron *et al.* 2019).

Le groupe de travail souligne également le fait que des composés du titane sont utilisés dans la construction de certains équipements automobiles (plaquettes de freins) et d'équipements routiers (enrobés des chaussées, peintures blanches) et peuvent ainsi être émis par le trafic routier *via* l'usure de ces équipements. En particulier, l'utilisation du dioxyde de titane (TiO<sub>2</sub>), y compris sous forme nanoparticulaire, est l'objet de fortes préoccupations en lien avec ses effets sanitaires (Anses 2019c), justifiant l'inclusion du titane dans la liste d'intérêt.

### 3.1.3 Constitution de la liste de polluants d'intérêt

En combinant les conclusions des travaux décrits ci-dessus et l'expertise des membres du groupe de travail, une liste de polluants d'intérêt a été dressée (Figure 3) en suivant les conditions ci-dessous.

- Seuls les polluants retrouvés dans l'air ambiant et générés par le trafic routier ont été inclus. Ainsi, ont été exclus de la liste : le sulfure d'hydrogène, l'acrylonitrile, le 1,1,2-trichloroéthane, le trichloréthylène et les endotoxines.
- Seuls six HAP parmi les 16 recommandés par Anses (2012)<sup>6</sup> ont été inclus dans la liste car ils sont fortement associés au trafic routier (Charron *et al.* 2019; El Haddad *et al.* 2009; Polo-Rehn 2013).

---

<sup>6</sup> Ces 16 HAP sont les mêmes que ceux considérés par l'US EPA comme prioritaires pour une surveillance et une réglementation.

- La famille des dioxines et furanes n'a pas été considérée dans la liste car leur sélection par Anses (2012) se base sur la suspicion d'un risque par ingestion de plantes contaminées uniquement.
- Les sulfates, notamment les sulfates d'ammonium, n'ont pas été considérés car, même s'ils sont présents en très faibles quantités dans les échappements diesel, ce sont majoritairement des composés d'origine secondaire, formés lentement dans l'atmosphère. De ce fait, ils sont généralement caractéristiques du fond régional et de masses d'air âgées (Rodhe, Crutzen et Vanderpol 1981).
- Le carbone organique a différentes origines dont les contributions relatives peuvent varier d'un site à l'autre et d'une saison à l'autre. Il est émis par les véhicules Diesel et essence mais une part importante de carbone organique est d'origine secondaire et il est fortement présent dans les combustions de biomasse. Dans le cadre du projet PM-DRIVE, plusieurs méthodes (*Positive Matrix Factorization* et mesures de carbone 14C) ont confirmé que la majorité du carbone organique dans l'air ambiant ne provenait pas du trafic routier (DeWitt *et al.* 2015; Polo-Rehn *et al.* 2014).
- Les particules grossières (PM<sub>2,5-10</sub>) sont émises par le trafic routier par l'intermédiaire des émissions hors-échappement (resuspension, usure de la chaussée, des freins et des pneus par exemple). La revue de la littérature de Fussell *et al.* (2022) montre néanmoins que la coupure à 2,5 µm est inappropriée pour définir les émissions des freins et pneus en masse (comprises entre 1 et 10 µm). De plus, la fraction PM<sub>2,5-10</sub> est de fait incluse dans la fraction PM<sub>10</sub>, par ailleurs considérée dans la liste d'intérêt et qui est privilégiée par le GT.

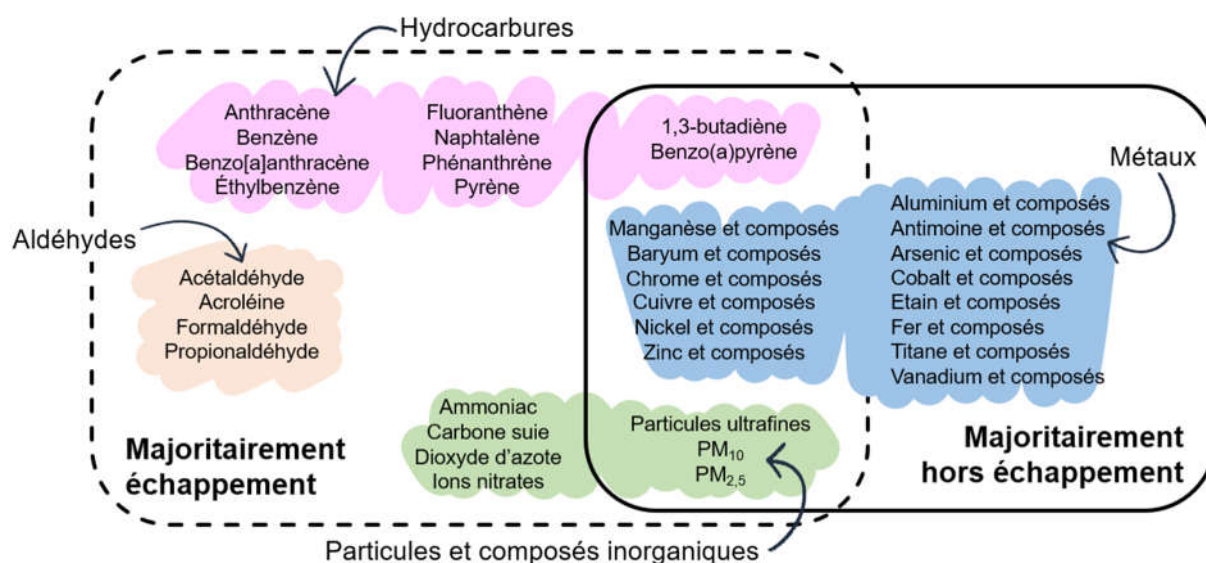


Figure 3. Liste des 35 polluants d'intérêt dans la présente expertise

Concernant les métaux, n'ayant pas à ce stade de précision sur la forme réellement émise par le trafic routier, le groupe de travail a fait le choix de considérer par défaut l'élément métal et l'ensemble de ses composés potentiels (di-, tri-oxyde...). L'acquisition de données sur cette question sera réalisée au cours de l'expertise.

**Ces 35 polluants (Figure 3) sont considérés d'intérêt dans la présente expertise car ils sont générés par le trafic routier et susceptibles d'impacter la santé des populations qui y sont exposées. Cette liste a été construite grâce aux résultats et connaissances accumulés précédemment, identifiant des enjeux sanitaires pour la population générale.**



## 3.2 Stratégie de sélection des polluants pertinents pour l'évaluation des expositions et des risques sanitaires

A partir de la liste de polluants d'intérêt, le groupe de travail a mis en œuvre une stratégie de sélection pour identifier les plus pertinents pour l'évaluation des expositions et des risques pour la population professionnellement exposée, au regard des enjeux de l'expertise.

Les enjeux considérés sont i) la réalisation d'une évaluation des risques ciblant les travailleurs exerçant tout ou partie de leur activité professionnelle sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier en comparaison avec la population générale et ii) l'identification d'indicateurs pertinents à surveiller en lien avec le trafic routier (cf. paragraphe 1.2).

Ainsi, la stratégie de sélection définie par le groupe de travail repose sur la documentation et la prise en compte des deux critères suivants :

- la faisabilité de réalisation de l'évaluation des risques (paragraphe 3.2.1.1)
- la spécificité des polluants vis-à-vis de la source d'intérêt et de la population cible (paragraphe 3.2.1.2).

Cette stratégie évalue les polluants individuellement. Bien que pragmatique, cette approche « substance par substance » ne reflète pas la réalité des expositions (mélanges complexes de composés).

Il est également à noter qu'aucune hiérarchisation des polluants n'a été recherchée. Cette approche globale et transversale est différente de celles appliquées dans les travaux antérieurs (paragraphe 3.1.1), dans lesquels les conclusions reposaient sur un exercice de hiérarchisation ou priorisation.

### 3.2.1 Définition et documentation des critères de sélection

Le présent chapitre explicite la stratégie de sélection et de documentation des critères envisagés pour la sélection des polluants pertinents pour l'évaluation des expositions et des risques pour la population professionnellement exposée :

- disponibilité de valeurs sanitaires de référence,
- capacité à mesurer les polluants dans l'air ambiant,
- spécificité vis-à-vis de la source trafic.

Les données recueillies sur ces critères de sélection sont détaillées dans l'Annexe 2 et l'Annexe 3.

#### 3.2.1.1 Faisabilité de réalisation de l'évaluation des risques sanitaires

##### Valeurs sanitaires de référence

Dans la perspective de mener à bien une évaluation quantitative des risques sanitaires, il est nécessaire de disposer de référentiels sanitaires auxquels comparer les expositions subies par les travailleurs ou la population générale. Ainsi, **le critère clé considéré pour la sélection des polluants d'intérêt est la disponibilité de valeurs sanitaires de référence, préférentiellement pour des expositions par inhalation.** Plus largement, la disponibilité de valeurs sanitaires de référence pour une substance donnée témoigne de la connaissance de sa toxicité et du fait qu'elle représente des enjeux sanitaires.

Un recensement des valeurs de référence disponibles pour les 35 polluants d'intérêt a été mis en œuvre. Ont été considérées les valeurs toxicologiques de référence (VTR) établies par des instances nationales et internationales (Anses, ATSDR<sup>7</sup>, US EPA<sup>8</sup>, RIVM<sup>9</sup>, OEHHA<sup>10</sup>, Santé Canada) pour des expositions par inhalation et par ingestion ainsi que les valeurs guides de qualité de l'air (Anses, OMS). La définition des valeurs de référence ainsi que les détails des informations recensées sont présentées en Annexe 2.

En complément de ce critère clé, des informations additionnelles relatives à la toxicité des polluants d'intérêt (classifications institutionnelles et réglementaires des dangers ; niveau de preuve d'effets) ont été documentées pour alimenter les discussions ; les éléments documentés et les sources consultées sont précisés dans le Tableau 4. **Pour les polluants ne disposant pas de valeurs sanitaires de référence, la mise en évidence d'un niveau de preuve d'effet jugé suffisant a été considérée à ce stade comme un critère d'inclusion. La disponibilité dans la littérature de relations doses-réponses pour ces polluants pourraient rendre faisable une évaluation des risques sanitaires.**

Tableau 4. Éléments documentés pour évaluer la faisabilité de réalisation de l'évaluation des risques sanitaires pour les polluants d'intérêt

Critère	Classification des dangers <sup>11</sup>	Valeurs de référence existantes	Niveau de preuve
Description	Cancérogène (CIRC, US EPA, CLP), mutagène (CLP), reprotoxique (CLP), toxicité pour des expositions répétées (CLP), perturbateur endocrinien (DEDuCT, Anses)	Hypothèse de construction, type, durée, voie, valeur et unité, étude (référence, population, espèce considérée, cible d'effet et effet critique), organisme et année de construction	Documentant la plausibilité de causalité, en particulier pour les polluants ne disposant pas de valeurs de référence
Sources	Monographies du CIRC <sup>12</sup> ; Classification US EPA <sup>13</sup> ; Classification CLP <sup>14</sup> ; Liste perturbateur endocrinien (DEDuCT) <sup>15</sup> et Anses (2021) <sup>16</sup>	Profils toxicologiques, valeurs sanitaires de référence et rapports d'expertise élaborés par des instances nationales et internationales (Anses, ATSDR <sup>7</sup> , US EPA <sup>8</sup> , RIVM <sup>9</sup> , OEHHA <sup>10</sup> , Santé Canada)	

CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer ; CLP : classification, étiquetage et emballage des substances et des mélanges.

## Métrologie

En complément des valeurs sanitaires de référence, la prise en compte de la capacité à mesurer les polluants dans l'air ambiant a été envisagée pour évaluer la faisabilité de l'évaluation des expositions (donc des risques). Dans ce cadre, les méthodes de prélèvement et d'analyse existantes ont été recensées pour chacun des polluants de la liste d'intérêt. Les éléments documentés sont visibles en Annexe 2. **Cette capacité à mesurer les polluants n'est finalement pas intervenue dans la stratégie de sélection car elle traduit plus la possibilité de mesurer un polluant et donc de le surveiller, que la faisabilité de réaliser**

<sup>7</sup> ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry

<sup>8</sup> US EPA : United States Environment Protection Agency (Etats-Unis)

<sup>9</sup> RIVM : Dutch National Institute for Public Health and the Environment (Pays-Bas)

<sup>10</sup> OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment (Californie, Etats-Unis)

<sup>11</sup> Les classifications CLP en tant que sensibilisants respiratoires et en tant que substances induisant des effets en cas d'exposition prolongée ou répétée n'ont pas été documentées ici.

<sup>12</sup> <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications>

<sup>13</sup> [https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-09/chronicfinaloutput\\_9\\_29\\_2021-12-46-18-pm\\_0.xlsx](https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-09/chronicfinaloutput_9_29_2021-12-46-18-pm_0.xlsx)

<sup>14</sup> <https://echa.europa.eu/fr/search-for-chemicals>

<sup>15</sup> <https://cb.imsc.res.in/deduct/>

<sup>16</sup> <https://www.anses.fr/system/files/REACH2019SA0179Anx-1.pdf>



une ERS. Les éléments documentés seront considérés dans la discussion sur le choix des indicateurs pertinents à surveiller en lien avec le trafic routier, afin de faciliter l'évaluation des risques sanitaires pour les travailleurs.

### 3.2.1.2 Spécificité vis-à-vis de la source et de la population cible

Pour déterminer si le polluant d'intérêt est un indicateur suffisamment spécifique de la pollution issue du trafic routier lorsqu'il est mesuré dans l'air ambiant, **le critère clé considéré est la comparaison des concentrations en situation trafic (i.e. à proximité du trafic routier) et en situation de fond.**

- Le polluant est considéré suffisamment spécifique de la source trafic routier lorsque les concentrations à proximité du trafic sont supérieures aux concentrations en situation de fond.
- Des concentrations en situation trafic similaires aux concentrations de fond témoignent d'un manque de spécificité.
- Des résultats hétérogènes selon les sources de données ou les localisations témoignent d'une influence peu claire du trafic routier sur les concentrations.

En complément de ce critère clé, des informations additionnelles ont été documentées pour alimenter les discussions ; l'ensemble des éléments documentés et leurs sources sont détaillés dans le Tableau 5.

**Tableau 5. Éléments documentés pour évaluer la spécificité du polluant vis-à-vis de la source trafic routier et de la population cible**

Critère	Clé	Additionnels	
	Comparaison des concentrations	Secteurs contributeurs aux émissions totales nationales	Existence de facteur d'émission
<b>Description</b>	Comparaison des concentrations en situation de proximité trafic et en situation de fond pour le polluant.	Part (%) de différents secteurs aux émissions totales nationales du polluant : transports (incluant routier), usage des bâtiments et activités résidentielles/tertiaires, industrie manufacturière et construction, industrie de l'énergie, déchets et agriculture (incluant sylviculture). Si la famille du polluant est considérée dans l'inventaire mais sans spéciation spécifique, alors la donnée est collectée et précisée.	Si aucun facteur d'émission n'a été identifié dans les sources ci-dessous, la donnée est considérée manquante. La littérature scientifique n'a pas été interrogée ; des recherches bibliographiques spécifiques avaient été menées dans Anses (2012) et peuvent être consultées le cas échéant. Les tendances temporelles (futures) prédites de ces facteurs émissions sont également d'intérêt, en lien avec les évolutions matérielles et réglementaires.
<b>Sources</b>	Connaissances <i>a priori</i> des membres du GT et éventuellement, données de la littérature	Inventaires nationaux (Citepa 2023, 2017)	Modèle COPERT (v5.6) (Copert 2024), modèle HBEFA (v4.2) (HBEFA 2022) et outil copCEREMA (Cerema 2024)

Il est à noter que le niveau des concentrations n'est pas considéré comme un argument de sélection du polluant en vue d'une évaluation des expositions et des risques, ni un argument de hiérarchisation ou de priorisation entre les polluants. En effet, une substance peut présenter une toxicité élevée même pour une concentration faible.

### 3.2.2 Mise en œuvre de la stratégie de sélection

Considérant les éléments collectés à l'étape précédente (données détaillées disponibles en Annexe 2 et Annexe 3), **les polluants ont été retenus pour l'évaluation des expositions et des risques lorsqu'ils remplissaient les deux conditions suivantes** :

- Disposer de valeurs sanitaires de référence ou de niveaux de preuve d'effets sanitaires ;
- Avoir des données de concentrations à proximité du trafic supérieures aux concentrations en situation de fond.

Les argumentaires de sélection des polluants sont présentés ci-dessous.

#### 3.2.2.1 Aldéhydes

De manière générale, on peut noter que le secteur résidentiel est la source majoritaire d'émission d'aldéhydes, provenant principalement des installations de chauffage (Citepa 2017, 2023). Néanmoins, cette observation est à nuancer lorsque les polluants sont considérés individuellement et selon la situation (localisation et saison).

##### Acétaldéhyde

###### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

L'acétaldéhyde fait partie des polluants dont l'Anses (2012) recommandait la prise en compte dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières. Il a été identifié *via* le calcul d'un indice de risque à partir de données de concentrations dans l'air, incluant la proximité du trafic routier, et des VTR disponibles.

###### *Argumentaire de sélection*

L'acétaldéhyde a été classé cancérigène probable pour l'humain par l'US EPA en 1988, cancérigène possible par le CIRC en 1998 et sa mutagénicité est suspectée. Des preuves d'effets de perturbation endocrinienne ont été observées *in vivo* chez l'animal. Il dispose de valeurs sanitaires de référence pour des expositions par inhalation aiguës et chroniques, pour des effets à seuil (bronchoconstriction et lésions olfactives) et sans seuil (tumeurs nasales) (Annexe 2).

Les concentrations d'acétaldéhyde en bords de routes sont généralement similaires aux concentrations en situation de fond (Annexe 3). Les sources émettrices principales d'aldéhydes (incluant acétaldéhyde) en France sont le secteur d'usage et activités des bâtiments (Citepa 2023). Il est également à noter que les concentrations en air intérieur sont entre 2 et 3 fois plus importantes qu'en air ambiant extérieur (Certu-Cete de Lyon 2013).

###### *Conclusions du groupe de travail*

**L'acétaldéhyde n'est pas retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.** Cette sélection ne remet pas en cause les conclusions des précédents travaux Anses à l'origine de l'inclusion de l'acétaldéhyde dans la liste d'intérêt. Les recommandations faites dans des précédents travaux sont toujours d'actualité, notamment celles qui visent à réduire les émissions et l'exposition à ce polluant.

## Acroléine

### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

L'acroléine fait partie des polluants dont l'Anses (2012) recommandait la prise en compte dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières. Il a été identifié *via* le calcul d'un score de risque à partir de données de concentrations dans l'air, incluant la proximité au trafic routier, et des VTR disponibles.

### *Argumentaire de sélection*

L'acroléine a été classée cancérogène probable par le CIRC en 2020 et dispose de plusieurs valeurs sanitaires de référence pour des expositions par inhalation aiguës, subchroniques et chroniques sur la base d'effets respiratoires (irritations, atteintes de l'épithélium respiratoire supérieur, diminution de la fréquence respiratoire) (Annexe 2).

Les concentrations observées en bords de routes sont généralement similaires aux concentrations en situation de fond (Annexe 3). Les concentrations mesurées en air intérieur sont deux fois plus élevées qu'en air extérieur (Certu-Cete de Lyon 2013), souvent en lien avec le chauffage au bois. L'acroléine n'est par ailleurs plus considérée dans les études d'impact des infrastructures routières depuis 2005 (Note technique 2019).

### *Conclusions du groupe de travail*

**L'acroléine n'est pas retenue en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.** Cette sélection ne remet pas en cause les conclusions des précédents travaux Anses à l'origine de l'inclusion de l'acroléine dans la liste d'intérêt. Les recommandations faites dans le cadre de précédents travaux sont toujours d'actualité, notamment celles qui visent à réduire au maximum les émissions et l'exposition à ce polluant.

## Formaldéhyde

### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Le formaldéhyde fait partie des polluants dont l'Anses (2012) recommandait la prise en compte dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières. Il a été identifié *via* le calcul d'un score de risque à partir de données de concentrations dans l'air, incluant la proximité au trafic routier, et des VTR disponibles.

### *Argumentaire de sélection*

Le formaldéhyde a été classé cancérogène avéré pour l'Homme par le CIRC en 2009 et par l'US EPA en 2024. Des preuves d'effets de perturbation endocrinienne ont été observées *in vivo* chez l'animal. Des valeurs de référence ont été recensées pour des expositions chroniques par inhalation pour des effets à seuil (irritation oculaire et tumeurs des fosses nasales) et sans seuil (cancer de l'oropharynx) (Annexe 2).

Les concentrations observées en bords de routes sont généralement supérieures aux concentrations en situation de fond (Annexe 3). De plus, certaines publications montrent des concentrations en formaldéhyde plus élevées à l'intérieur des habitacles, en comparaison d'une situation de fond (Ravelomanantsoa *et al.* 2021). Il est néanmoins à noter que les concentrations mesurées en air intérieur sont deux fois plus élevées qu'en air extérieur (Certu-Cete de Lyon 2013) ; le formaldéhyde est un polluant emblématique de la qualité de l'air intérieur (Anses 2018b).

### *Conclusions du groupe de travail*

**Le formaldéhyde est retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.**

#### Propionaldéhyde

##### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Le propionaldéhyde fait partie des polluants dont l'Anses (2012) recommandait la prise en compte dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières. Il a été identifié *via* le calcul d'un score de risque à partir de données d'émissions dans l'air et des VTR disponibles.

##### *Argumentaire de sélection*

Le propionaldéhyde n'est pas classé comme agent cancérigène, mutagène ou reprotoxique, mais des preuves d'effets de perturbation endocrinienne ont été observées *in vivo* chez l'animal. Une valeur de référence à seuil a été recensée pour une exposition chronique par inhalation (atrophie de l'épithélium olfactif) (Annexe 2).

Les concentrations observées en bords de routes sont généralement similaires aux concentrations en situation de fond (Annexe 3). Il est à noter que les concentrations en air intérieur sont entre 2 et 3 fois plus importantes qu'en air ambiant extérieur (Certu-Cete de Lyon 2013).

### *Conclusions du groupe de travail*

**Le propionaldéhyde n'est pas retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.** Cette sélection ne remet pas en cause les conclusions des précédents travaux Anses à l'origine de l'inclusion du propionaldéhyde dans la liste d'intérêt. Les recommandations faites dans le cadre de précédents travaux sont toujours d'actualité, notamment celles qui visent à réduire au maximum les émissions et l'exposition à ce polluant.

#### 3.1.1.1 Composés inorganiques

##### Ammoniac

##### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

L'ammoniac fait partie des polluants dont l'Anses (2012) recommandait la prise en compte dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières. Il a été identifié *via* le calcul d'un score de risque à partir de données d'émissions dans l'air et des VTR disponibles.

##### *Argumentaire de sélection*

L'ammoniac n'est pas classé comme agent cancérigène, mutagène, reprotoxique ou perturbateur endocrinien (Annexe 2). Des VTR à seuil par inhalation ont été recensées sur des effets respiratoires aigus et chroniques (irritation, symptômes respiratoires et diminution de la fonction pulmonaire).

Les concentrations observées en bords de routes sont généralement supérieures aux concentrations observées en situation de fond (Annexe 3). Une stagnation, voire augmentation, des émissions d'ammoniac serait possible à moyen terme en lien avec l'évolution du parc automobile qui sera certainement contrebalancée par l'électrification du parc à plus long terme. On peut noter que l'ammoniac est aussi fortement émis par le secteur agricole, ce qui peut influencer localement les niveaux de concentration atmosphérique.

*Conclusions du groupe de travail*

**L'ammoniac est retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.**

Dioxyde d'azote*Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Le dioxyde d'azote fait partie des polluants dont l'Anses (2012) recommandait la prise en compte dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières, compte tenu de son inclusion historique dans les études d'impact passées et de l'enjeu de santé publique qu'il représente.

*Argumentaire de sélection*

Le dioxyde d'azote n'est pas classé comme agent cancérigène, mutagène, reprotoxique ou perturbateur endocrinien (Annexe 2). Des valeurs guides de qualité de l'air intérieur ont été recensées pour des effets à seuils respiratoires suite à des expositions à court et à long termes (Anses 2013). S'agissant d'un polluant réglementé dans l'air ambiant extérieur, des valeurs guides et limites, objectifs de qualité et seuils d'alerte existent pour le dioxyde d'azote. A noter que l'OMS a publié en septembre 2021 sa dernière mise à jour des valeurs guides pour l'air ambiant pour plusieurs polluants dont le dioxyde d'azote. Les valeurs guides proposées sont basées sur les nouvelles preuves des effets à court et à long terme du dioxyde d'azote sur la mortalité toutes causes non accidentelles en population générale (OMS 2021).

Les concentrations observées en bords de routes sont supérieures aux concentrations observées en situation de fond (Annexe 3). Le secteur des transports, notamment routier, est le premier contributeur aux émissions totales de dioxyde d'azote en France en 2020 (Citepa 2023).

*Conclusions du groupe de travail*

**Le dioxyde d'azote est retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.**

Ions nitrates (composés du nitrate)*Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Une évaluation du poids des preuves contenues dans la littérature épidémiologique observationnelle a rapporté un niveau d'indication « fort » d'effets sur la santé des ions nitrates (composés du nitrate) dans les particules de l'air ambiant, en particulier pour la santé cardiovasculaire à long terme (Anses 2019b). Il est à noter que les résultats issus des études d'expérimentation chez l'animal ne soutenaient pas cette conclusion.

*Argumentaire de sélection*

Le nitrate et les ions nitrates ne sont pas classés comme agents cancérigènes, mutagènes, reprotoxiques mais des preuves d'effets de perturbation endocrinienne ont été observées *in vivo* chez l'animal. Des valeurs de référence ont été recensées pour le nitrate pour des expositions par ingestion, sur des effets critiques hématologiques. Aucune valeur de référence par inhalation n'a été identifiée (Annexe 2). Toutefois, des preuves d'effets cardiovasculaires des particules de nitrate de l'air ambiant sur le long terme (niveau fort) sont disponibles (Anses 2019b).

Les concentrations observées en bords de routes sont généralement supérieures aux concentrations en situation de fond (Annexe 3). Il faut néanmoins noter que les concentrations de nitrate présentent des variabilités saisonnières marquées, en particulier sur les sites urbains de la moitié nord de la France et au printemps (en lien avec les épandages agricoles), ce qui peut influencer localement les niveaux de concentration atmosphérique.

#### *Conclusions du groupe de travail*

**Les ions nitrates sont retenus en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.**

### 3.1.1.2 Hydrocarbures

De manière générale, on peut noter que le secteur résidentiel est la source majoritaire d'émission d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) totaux (incluant notamment anthracène, benzo[a]anthracène, benzo[a]pyrène, fluoranthène, naphtalène, phénanthrène et pyrène). Au sein de ce secteur, ils sont principalement générés par la combustion du bois et de produits assimilés (Citepa 2023).

Les Composés Organiques Volatiles Non Méthaniques (COVNM)<sup>17</sup> (incluant notamment benzène, éthylbenzène et 1,3-butadiène) sont des espèces organiques gazeuses issues des phénomènes de combustion, d'évaporation, de réactions chimiques qui ont la particularité d'être émises par un très grand nombre de secteurs (Citepa 2017).

Néanmoins, ces observations générales sont à nuancer lorsque ces polluants (HAP ou COVNM) sont considérés individuellement et selon la situation (localisation et saison) (Citepa 2017, 2023).

#### 1,3-butadiène

##### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Dans Anses (2018a), le 1,3-butadiène était classé parmi les polluants prioritaires en vue d'une surveillance dans l'air ambiant, sur la base d'une hiérarchisation utilisant un calcul de score de risque à partir de données de concentration dans l'air et des VTR disponibles. Il est à noter qu'une seule valeur de concentration en situation de proximité trafic avait été collectée pour le 1,3-butadiène (contre 22 en situation industrielle et 19 en situation de fond).

Le 1,3-butadiène fait partie des polluants dont l'Anses (2012) et le Cerema (2019) recommandent la prise en compte dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières. Il a été identifié *via* le calcul d'un score de risque à partir de données d'émissions dans l'air et des VTR disponibles.

##### *Argumentaire de sélection*

Le 1,3-butadiène a été classé cancérigène avéré pour l'humain par le CIRC en 2009 et l'US EPA en 2002. Des preuves d'effets de perturbation endocrinienne ont été observées *in vivo* chez l'animal. Il dispose de plusieurs valeurs sanitaires de référence pour des expositions chroniques par inhalation pour des effets à seuil (atrophie ovarienne et leucémie) et sans seuil (leucémie et tumeurs pulmonaires) (Annexe 2).

---

<sup>17</sup> Certains HAP peuvent être des COVNM lorsqu'ils sont très volatils (naphtalène par exemple).

Les concentrations en bords de routes sont généralement similaires aux concentrations en situation de fond (Annexe 3). Il est également à noter que les concentrations en air intérieur sont entre 2 et 3 fois plus importantes qu'en air ambiant extérieur (Certu-Cete de Lyon 2013).

#### *Conclusions du groupe de travail*

**Le 1,3-butadiène n'est pas retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.** Cette sélection ne remet pas en cause les conclusions des précédents travaux Anses à l'origine de l'inclusion du 1,3-butadiène dans la liste d'intérêt. Les recommandations faites dans de précédents travaux sont toujours d'actualité, notamment celles qui visent à réduire au maximum les émissions et l'exposition à ce polluant.

### Anthracène

#### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

L'anthracène fait partie des polluants dont l'Anses (2012) et le Cerema (2019) recommandaient la prise en compte dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières. Il a été identifié *via* le calcul d'un score de risque à partir de données d'émissions dans l'air et des VTR disponibles.

#### *Argumentaire de sélection*

L'anthracène a été classé cancérogène possible pour l'humain par le CIRC en 2023. Peu d'études ont cherché à identifier les effets toxiques de l'anthracène seul pour des expositions par inhalation, la plupart des données disponibles concernent des mélanges de HAP. Une VTR sans seuil pour des expositions chroniques par inhalation considérant les cancers des voies respiratoires supérieures est toutefois disponible pour ce polluant. Cette valeur a été obtenue par analyse de la toxicité relative de ce composé comparativement à celle du benzo[a]pyrène (Annexe 2).

Les concentrations observées en bords de routes sont généralement supérieures aux concentrations observées en situation de fond (Annexe 3).

#### *Conclusions du groupe de travail*

**L'anthracène est retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.**

### Benzène

#### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Le benzène fait partie des polluants dont l'Anses (2012) et le Cerema (2019) recommandaient la prise en compte dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières. Il a été identifié *via* le calcul d'un score de risque à partir de données de concentrations dans l'air, incluant la proximité au trafic routier, et des VTR disponibles.

#### *Argumentaire de sélection*

Le benzène a été classé cancérogène avéré pour l'humain par le CIRC en 2017 et l'US EPA en 2000 et sa mutagénicité est suspectée. Des preuves d'effets de perturbation endocrinienne ont été observées *in vivo* chez l'animal. Des valeurs de référence par inhalation ont été recensées, notamment pour des effets hématologiques et des leucémies en lien avec les expositions chroniques (Annexe 2).



Les concentrations observées en bords de routes sont généralement supérieures aux concentrations observées en situation de fond (Annexe 3). Le benzène est un des COVNM dont le trafic routier est le principal émetteur, en lien avec les véhicules essence (Citepa 2023).

#### *Conclusions du groupe de travail*

**Le benzène est retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.**

#### Benzo[a]anthracène

##### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Le benzo[a]anthracène fait partie des polluants dont l'Anses (2012) et le Cerema (2019) recommandaient la prise en compte dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières. Il a été identifié *via* le calcul d'un score de risque à partir de données d'émissions dans l'air et des VTR disponibles.

##### *Argumentaire de sélection*

Le benzo[a]anthracène est classé cancérigène probable pour l'humain par l'US EPA en 1990 et cancérigène possible par le CIRC en 2005. Des preuves d'effets de perturbation endocrinienne ont été observées *in vivo* chez l'animal. Des valeurs de référence sans seuil ont été recensées pour des expositions chroniques par inhalation considérant les cancers des voies respiratoires supérieures. Cette valeur a été obtenue par analyse de la toxicité relative de ce composé comparativement à celle du benzo[a]pyrène (Annexe 2).

Les concentrations observées en bords de routes sont généralement supérieures aux concentrations observées en situation de fond (Annexe 3). Le benzo[a]anthracène constitue le deuxième HAP le plus présent (après le fluoranthène) dans les rejets du secteur des transports, incluant le transport routier (Citepa 2023).

#### *Conclusions du groupe de travail*

**Le benzo[a]anthracène est retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.**

#### Benzo[a]pyrène

##### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Le benzo[a]pyrène fait partie des polluants dont l'Anses (2012) et le Cerema (2019) recommandaient la prise en compte dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières. Il a été identifié *via* le calcul d'un score de risque à partir de données de concentrations dans l'air, incluant de données en proximité trafic routier, et des VTR disponibles.

##### *Argumentaire de sélection*

Le benzo[a]pyrène a été classé cancérigène avéré pour l'Homme par le CIRC en 2009 et l'US EPA en 2017. Sa mutagénicité et reprotoxicité sont suspectées. Des preuves d'effets de perturbation endocrinienne ont été observées *in vivo* chez l'animal et *in vitro* dans des expériences utilisant des cellules humaines. Il dispose de plusieurs VTR pour des expositions chroniques par inhalation pour des effets à seuil (reproduction) et sans seuil (cancer des voies respiratoires supérieures) (Annexe 2).

Les concentrations en benzo[a]pyrène en bords de routes sont généralement similaires aux concentrations en situation de fond (Annexe 3). Le secteur des transports (dont routier)



représentait 5 % des émissions totales de benzo[a]pyrène en 2020 (Citepa 2022). Plusieurs études s'accordent actuellement sur la contribution importante du chauffage au bois aux émissions totales de benzo[a]pyrène dans l'air ambiant extérieur (Gianelle *et al.* 2013; Guerreiro *et al.* 2016).

#### *Conclusions du groupe de travail*

**Le benzo[a]pyrène n'est pas retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.** Cette sélection ne remet pas en cause les conclusions des précédents travaux Anses à l'origine de l'inclusion du benzo[a]pyrène dans la liste d'intérêt. Les recommandations faites dans le cadre de précédents travaux sont toujours d'actualité, notamment celles qui visent à réduire au maximum les émissions et l'exposition à ce polluant.

### Ethylbenzène

#### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

L'éthylbenzène fait partie des polluants dont l'Anses (2012) recommandait la prise en compte dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières. Il a été identifié *via* le calcul d'un score de risque à partir de données d'émissions dans l'air et des VTR disponibles.

#### *Argumentaire de sélection*

L'éthylbenzène a été classé cancérogène probable pour l'être humain par le CIRC en 2000 et des preuves d'effets de perturbation endocrinienne ont été observées *in vivo* chez l'animal. Des valeurs de référence par inhalation ont été recensées, à la fois pour des effets sans seuil sur le rein (tumeurs) et à seuil sur l'audition (exposition aiguës) et le rein (expositions chroniques) (Annexe 2).

Les concentrations observées en bords de routes sont supérieures aux concentrations observées en situation de fond (Annexe 3).

#### *Conclusions du groupe de travail*

**L'éthylbenzène est retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.**

### Fluoranthène

#### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Le fluoranthène fait partie des polluants dont l'Anses (2012) et le Cerema (2019) recommandaient la prise en compte dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières. Il a été identifié *via* le calcul d'un score de risque à partir de données de d'émissions dans l'air et des VTR disponibles.

#### *Argumentaire de sélection*

Le fluoranthène a été considéré inclassable par le CIRC en 2005 et l'US EPA en 1990 quant à sa cancérogénicité ; il n'est pas classé mutagène, reprotoxique ou perturbateur endocrinien. Néanmoins, une VTR sans seuil pour des expositions chroniques par inhalation considérant les cancers des voies respiratoires supérieures est disponible pour le fluoranthène. Cette valeur a été obtenue par analyse de la toxicité relative de ce composé comparativement à celle du benzo[a]pyrène (Annexe 2).

Les concentrations mesurées en situation trafic sont généralement supérieures à celles mesurées en situation de fond (Annexe 3). Le fluoranthène constitue le HAP le plus présent dans les rejets du secteur des transports, incluant transport routier (Citepa 2023). Il est

particulièrement associé à la proximité du trafic ainsi qu'aux tunnels en comparaison des autres HAP de notre liste (El Haddad *et al.* 2009; Polo-Rehn 2013).

#### *Conclusions du groupe de travail*

**Le fluoranthène est retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.**

#### Naphtalène

##### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Le naphtalène fait partie des polluants dont l'Anses (2012) recommandait la prise en compte dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières. Il a été identifié *via* le calcul d'un score de risque à partir de données de d'émissions dans l'air et des VTR disponibles.

Dans Anses (2018a), le naphtalène était classé parmi les polluants prioritaires en vue d'une surveillance dans l'air ambiant, sur la base d'une hiérarchisation utilisant un calcul de score de risque à partir de données de concentration dans l'air et des VTR disponibles. Il est à noter que les valeurs de concentrations amenant des dépassements des VTR sélectionnées étaient issues de sites de mesure dont l'influence (industrielle, trafic ou fond) était non connue.

##### *Argumentaire de sélection*

Le naphtalène a été classé cancérogène possible pour l'humain par le CIRC en 2002 et l'US EPA en 1998. Des valeurs de référence à seuil et sans seuil ont été recensées pour des expositions chroniques par inhalation pour des effets respiratoires (lésions de l'épithélium respiratoire et tumeurs de l'épithélium olfactif) (Annexe 2).

Les concentrations observées dans l'air des bords de routes sont supérieures aux concentrations en situation de fond au sein des sources documentaires consultées (Annexe 3). Le naphtalène est un des HAP les plus émis par les véhicules diesel routiers les plus récents avec le fluoranthène et le benzo[a]anthracène (Leblanc *et al.* 2021).

##### *Conclusions du groupe de travail*

**Le naphtalène est retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.**

#### Phénanthrène

##### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Le phénanthrène fait partie des polluants dont l'Anses (2012) recommandait la prise en compte dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières. Il a été identifié *via* le calcul d'un score de risque à partir de données d'émissions dans l'air et des VTR disponibles.

##### *Argumentaire de sélection*

Le phénanthrène a été considéré inclassable par le CIRC en 2005 et par l'US EPA en 1990 quant à sa cancérogénicité et n'est pas classé mutagène, reprotoxique ou perturbateur endocrinien. Des valeurs de références pour des expositions chroniques par inhalation considérant les cancers des voies respiratoires supérieures ont été recensées pour le phénanthrène. Cette valeur a été obtenue par analyse de la toxicité relative de ce composé comparativement à celle du benzo[a]pyrène (Annexe 2).

Les concentrations observées en bords de routes sont supérieures aux concentrations observées en situation de fond (Annexe 3).

*Conclusions du groupe de travail*

**Le phénanthrène est retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.**

Pyrène*Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Le pyrène fait partie des polluants dont l'Anses (2012) recommandait la prise en compte dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières. Il a été identifié *via* le calcul d'un score de risque à partir de données d'émissions dans l'air et des VTR disponibles.

*Argumentaire de sélection*

Le pyrène a été considéré inclassable par le CIRC en 2005 et l'US EPA en 1990 quant à sa cancérogénicité, ni classé mutagène, neurotoxique ou perturbateur endocrinien. Une valeur de référence pour des expositions chroniques par inhalation considérant les cancers des voies respiratoires supérieures a été recensée pour le pyrène. Cette valeur a été obtenue par analyse de la toxicité relative de ce composé comparativement à celle du benzo[a]pyrène (Annexe 2).

Les concentrations mesurées en situation trafic sont supérieures à celles mesurées en situation de fond (Annexe 3).

*Conclusions du groupe de travail*

**Le pyrène est retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.**

### 3.1.1.3 Métaux

N'ayant pas à ce stade de précision sur la forme réellement émise par le trafic routier, le groupe de travail a fait le choix de considérer par défaut l'élément métal et l'ensemble de ses composés potentiels (di-, tri-oxyde...). Une différenciation a été faite quand elle était possible, notamment sur le volet de la disponibilité des valeurs de référence.

Par ailleurs, les effets sanitaires des métaux de transition pris individuellement sont difficilement identifiables, notamment dans la littérature épidémiologique observationnelle, en raison de la forte corrélation de leurs concentrations due à leurs sources communes – usure des freins et des pneus notamment. Ainsi, des résultats obtenus pour des métaux considérés individuellement peuvent témoigner de l'effet sanitaire d'autres métaux, de leurs mélanges ou de sources communes.

Aluminium*Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

L'aluminium fait partie des composés considérés comme d'intérêt par le groupe de travail en raison de sa fréquente utilisation dans les équipements automobiles (plaquettes et disques de freins et chaussées).

*Argumentaire de sélection*

L'aluminium n'est pas classé comme agent cancérigène, mutagène, reprotoxique ou perturbateur endocrinien (Annexe 2). L'aluminium métal ne dispose pas de valeurs de référence par inhalation. Une VTR (sub)chronique par voie orale a été recensée sur des effets

neurologiques pour la forme aluminium lactate. L'ingestion d'aliments contaminés constitue en effet la principale voie d'exposition à l'aluminium dans la population (ATSDR 2008).

Les concentrations rapportées au sein des sources documentaires ne montrent pas une influence claire du trafic routier (Annexe 3). Dans le projet Mocopo/PM-DRIVE, la différence des concentrations entre la situation trafic et la situation de fond n'était pas statistiquement significative ; aucune corrélation avec l'intensité du trafic routier n'était mise en évidence, suggérant une contamination par une source industrielle proche (Charron *et al.* 2019).

#### *Conclusions du groupe de travail*

**L'aluminium n'est pas retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.**

### Antimoine

#### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Dans Anses (2018a), l'antimoine était classé parmi les polluants prioritaires en vue d'une surveillance dans l'air ambiant, sur la base d'une hiérarchisation utilisant un calcul de score de risque à partir de données de concentration dans l'air et des VTR disponibles. Il est à noter que les valeurs de concentrations amenant des dépassements des VTR sélectionnées correspondaient à des mesures réalisées sous influence industrielle.

#### *Argumentaire de sélection*

L'antimoine dans sa forme élémentaire n'est pas classé comme agent cancérigène, mutagène, reprotoxique ou perturbateur endocrinien. Le trioxyde de diantimoine a été classé probablement cancérigène pour l'Homme par le CIRC en 2022. Des valeurs de référence par inhalation ont été recensées pour des expositions aiguë et chronique pour la forme spécifique trioxyde d'antimoine et ce, pour des effets sur les voies respiratoires supérieures et inférieures (métaplasie squameuse de l'épiglotte et inflammation pulmonaire) (Annexe 2).

Les concentrations observées en bords de routes sont généralement supérieures aux concentrations observées en situation de fond (Annexe 3). L'antimoine est considéré comme un bon marqueur des émissions hors échappement du trafic routier, en particulier l'usure des freins (Grigoratos et Martini 2015; LCSQA 2017a).

#### *Conclusions du groupe de travail*

**L'antimoine est retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.**

### Arsenic

#### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

L'arsenic fait partie des polluants dont l'Anses (2012) recommandait la prise en compte dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières. Il a été identifié *via* le calcul d'un score de risque à partir de données de concentrations dans l'air, incluant la proximité au trafic routier, et des VTR disponibles.

#### *Argumentaire de sélection*

L'arsenic et ses composés inorganiques (dont trioxyde d'arsenic, arsenite et arsenate) ont été classés cancérigènes avérés pour l'Homme par le CIRC en 2009 et l'US EPA en 1995. Des preuves d'effets de perturbation endocrinienne ont été observées *in vivo* chez l'animal et *in vitro* dans des expériences utilisant des cellules humaines. Des valeurs sanitaires de référence

par inhalation ont été recensées mais elles sont basées sur des extrapolations d'études examinant l'ingestion d'arsenic (capacités intellectuelles des enfants, estimation de la part inhalée) ou l'exposition professionnelle (cancers pulmonaires ou cutanés, extrapolation à des niveaux d'exposition plus faibles) (Annexe 2). L'ingestion d'eau ou d'aliments contaminés constitue la principale voie d'exposition à l'arsenic en population générale et les autres voies d'exposition sont généralement considérées comme négligeables (Garnier *et al.* 2020).

Les concentrations d'arsenic observées dans l'air des bords de routes sont similaires, voire inférieures, aux concentrations en situation de fond au sein des sources documentaires consultées (Annexe 3). Le contributeur principal aux émissions totales d'arsenic en France en 2020 est le secteur de l'industrie manufacturière et construction (36 %) (Citepa 2023). Traditionnellement, l'arsenic est considéré comme traceur des sources industrielles (LCSQA 2017a).

#### *Conclusions du groupe de travail*

**L'arsenic n'est pas retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.** Cette sélection ne remet pas en cause les conclusions des précédents travaux Anses à l'origine de l'inclusion de l'arsenic dans la liste d'intérêt. Les recommandations faites dans le cadre de précédents travaux sont toujours d'actualité, notamment celles qui visent à réduire au maximum les émissions et l'exposition à ce polluant.

### Baryum

#### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Le baryum fait partie des composés considérés comme d'intérêt par le groupe de travail en raison de sa fréquente utilisation dans les équipements (plaquettes et disques de freins et chaussées) (Beji *et al.* 2023; Grigoratos et Martini 2015; Harrison *et al.* 2021).

#### *Argumentaire de sélection*

Le baryum n'est pas classé comme agent cancérigène, mutagène, reprotoxique ou perturbateur endocrinien. Une valeur de référence à seuil pour une exposition chronique par inhalation a été recensée, pour des effets cardiovasculaires en lien avec les poussières de carbonate de baryum (insoluble ou soluble, la cinétique est supposée similaire) (Annexe 2).

Les concentrations observées en bords de routes sont généralement supérieures aux concentrations observées en situation de fond (Annexe 3). Le baryum est par ailleurs considéré comme bon traceur des émissions hors échappement du trafic routier (LCSQA 2017a).

#### *Conclusions du groupe de travail*

**Le baryum est retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.**

### Chrome

#### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Le chrome fait partie des polluants dont l'Anses (2012) recommandait la prise en compte dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières. Il a été identifié *via* le calcul d'un score de risque à partir de données de concentrations dans l'air, incluant la proximité au trafic routier, et des VTR disponibles.

### *Argumentaire de sélection*

La forme élémentaire du chrome et le chrome trivalent (CrIII) ont été considérés inclassables par le CIRC en 1989 et par l'US EPA en 1998 quant à leur cancérogénicité pour l'humain, et ne sont pas classés mutagène ou reprotoxique. Le chrome hexavalent (CrVI) et ses composés ont été classés cancérogènes avérés chez l'Homme par le CIRC en 2009 et l'US EPA en 2024. Des preuves d'effets de perturbation endocrinienne ont été observées *in vivo* chez l'animal pour l'ensemble des formes précitées. Des valeurs de référence ont été recensées pour l'inhalation chronique de formes spécifiques du chrome (hexavalent ou trivalent) en considérant des effets respiratoires notamment cancérogènes (inflammation chronique des poumons et hyperplasie des cellules septales, lésions du nez et du larynx, cancer pulmonaire) (Annexe 2).

Les concentrations observées en bords de routes sont supérieures aux concentrations observées en situation de fond (Annexe 3). Le secteur des transports, en particulier routier, est le premier contributeur aux émissions totales de chrome en France en 2020 (Citepa 2023).

### *Conclusions du groupe de travail*

**Le chrome est retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.**

## Cobalt

### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Dans Anses (2018a), le cobalt était classé parmi les polluants prioritaires en vue d'une surveillance dans l'air ambiant, sur la base d'une hiérarchisation utilisant un calcul de score de risque à partir de données de concentration dans l'air et des VTR disponibles. Il est à noter que les valeurs de concentrations amenant des dépassements des VTR sélectionnées correspondaient à des mesures réalisées sous influence industrielle.

### *Argumentaire de sélection*

Le cobalt métallique et les sels solubles de cobalt (II) ont été classés cancérogènes probables pour l'homme par le CIRC en 2022 pour une exposition par inhalation. La mutagénicité et la reprotoxicité du cobalt sont suspectées. Le cobalt et ses composés disposent de plusieurs valeurs sanitaires de référence pour des expositions chroniques par inhalation, considérant la diminution de la fonction respiratoire, voire le cancer pulmonaire (Annexe 2).

Les concentrations mesurées en bords de routes ne montrent pas une influence claire du trafic routier (Annexe 3). Dans le projet Mocopo/PM DRIVE, les concentrations en cobalt n'étaient par exemple pas corrélées aux indicateurs de la source trafic routier (trafic total, trafic lourd, oxydes d'azote et carbone suie) ; les concentrations observées plus élevées en situation trafic étaient vraisemblablement dues à une source industrielle proche (Charron *et al.* 2019). De plus, les teneurs en cobalt dans les plaquettes et les disques de freins sont très faibles selon Hulskotte, Roskam et Denier van der Gon (2014).

### *Conclusions du groupe de travail*

**Le cobalt n'est pas retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.** Cette sélection ne remet pas en cause les conclusions des précédents travaux Anses à l'origine de l'inclusion du cobalt dans la liste d'intérêt. Les recommandations faites dans le cadre de précédents travaux sont toujours d'actualité, notamment celles qui visent à réduire au maximum les émissions et l'exposition à ce polluant.



## Cuivre

### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Dans Anses (2018a), le cuivre était classé parmi les polluants prioritaires en vue d'une surveillance dans l'air ambiant, sur la base d'une hiérarchisation utilisant un calcul de score de risque à partir de données de concentration dans l'air et des VTR disponibles. Il est à noter que les valeurs de concentrations amenant des dépassements des VTR sélectionnées correspondaient à des mesures réalisées sous influence industrielle.

Une évaluation du poids des preuves contenues dans la littérature épidémiologique et d'expérimentation animale a conclu à un niveau de preuve « faible » des effets sanitaires du Cuivre dans les particules de l'air ambiant, en particulier pour la santé cardiovasculaire à long terme (Anses 2019b).

### *Argumentaire de sélection*

La forme élémentaire du cuivre n'est pas classée comme agent cancérigène, mutagène, reprotoxique ou perturbateur endocrinien. Des valeurs de référence à seuil ont été recensées pour des expositions aiguës et chroniques par inhalation pour des effets respiratoires et immunologiques ; les formes considérées incluent des poussières de cuivre issues d'expositions professionnelles et le chlorure de cuivre (Annexe 2). Des preuves d'effets cardiovasculaires des particules de cuivre de l'air ambiant sur le long terme sont par ailleurs disponibles (Anses 2019b).

Les concentrations rapportées au sein des sources documentaires ne montrent pas une influence claire du trafic routier (Annexe 3). Pourtant, le cuivre est un des métaux les plus abondants dans la composition des disques et plaquettes de frein (avec le fer, l'étain et le zinc) (Hulskotte, Roskam et Denier van der Gon 2014). Il est considéré comme bon traceur des émissions hors échappement du trafic routier en zones urbaines (LCSQA 2017a). Le secteur des transports, en particulier routier, est le premier contributeur aux émissions totales de cuivre en France en 2020 (Citepa 2023).

### *Conclusions du groupe de travail*

**Le cuivre est retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.** Pour ce polluant, les avis des experts du groupe de travail ont prévalu sur la stricte application des critères de sélection.

## Etain

### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

L'étain fait partie des composés considérés comme d'intérêt par le groupe de travail en raison de sa fréquente utilisation dans les équipements automobiles (plaquettes et disques de freins).

### *Argumentaire de sélection*

La forme élémentaire de l'étain n'est pas classée comme agent cancérigène, mutagène, reprotoxique ou perturbateur endocrinien. La seule valeur de référence recensée pour une exposition chronique par inhalation a été construite pour une forme spécifique (oxyde de tributylétain), à partir d'une étude d'exposition aiguë chez l'animal, pour des effets d'irritation respiratoire. Par ailleurs, des preuves d'effets de perturbation endocrinienne ont été observées *in vivo* chez l'animal pour l'oxyde de tributylétain. Les valeurs par voie orale considèrent elles-aussi des formes spécifiques (chlorure d'étain, étain inorganique, tributylétain, etc.) (Annexe 2).

Les concentrations observées en bords de routes sont supérieures aux concentrations observées en situation de fond (Annexe 3). L'étain est un des métaux les plus abondants dans la composition des disques et plaquettes de frein (avec le fer, le cuivre et le zinc) (Hulskotte, Roskam et Denier van der Gon 2014).

#### *Conclusions du groupe de travail*

**L'étain est retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaire au regard des enjeux de l'expertise.**

### Fer

#### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Une évaluation du poids des preuves contenues dans la littérature épidémiologique a rapporté un niveau d'indication « modéré à fort » d'effets du fer des particules de l'air ambiant sur la santé, notamment sur la santé cardiovasculaire (Anses 2019b). Il est à noter que les résultats issus des études d'expérimentation chez l'animal ne soutenaient pas cette conclusion.

#### *Argumentaire de sélection*

La forme élémentaire du fer n'est pas classée comme agent cancérigène, mutagène, reprotoxique ou perturbateur endocrinien. Il n'existe pas de valeurs de référence pour les effets sanitaires liés à des expositions par inhalation du fer (Annexe 2). Toutefois, des preuves d'effets cardiovasculaires des particules de fer de l'air ambiant sur le court terme (niveau fort) et le long terme (niveau modéré) sont disponibles (Anses 2019b). Le fer est par ailleurs incriminé dans le potentiel oxydant des particules (Calas *et al.* 2019; Calas *et al.* 2018).

Les concentrations de fer mesurées en situation trafic sont généralement supérieures à celles mesurées en situation de fond (Annexe 3). Par ailleurs, le fer est un des métaux les plus abondants dans la composition des disques et plaquettes de frein (avec le zinc, l'étain et le cuivre) (Hulskotte, Roskam et Denier van der Gon 2014). Il est considéré comme bon traceur des émissions hors échappement du trafic routier (LCSQA 2017a).

#### *Conclusions du groupe de travail*

**Le fer est retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.**

### Manganèse

#### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Dans Anses (2018a), le manganèse était classé parmi les polluants prioritaires en vue d'une surveillance dans l'air ambiant, sur la base d'une hiérarchisation utilisant un calcul de score de risque à partir de données de concentration dans l'air et des VTR disponibles. Il est à noter que les valeurs de concentrations amenant des dépassements des VTR sélectionnées correspondaient à des mesures réalisées sous influence industrielle.

#### *Argumentaire de sélection*

Le manganèse n'est pas classé comme agent cancérigène, mutagène, reprotoxique ou perturbateur endocrinien. Des preuves d'effets de perturbation endocrinienne ont été observées *in vivo* chez l'animal. Des valeurs de référence à seuil ont été recensées pour des expositions chroniques par inhalation sur des effets neurocomportementaux (Annexe 2).

Les concentrations observées dans l'air des bords de routes sont généralement supérieures aux concentrations en situation de fond au sein des sources documentaires consultées



(Annexe 3). Les concentrations de manganèse en proximité trafic sont par ailleurs corrélées à celles du cuivre, vu précédemment et retenu (Charron *et al.* 2019).

#### *Conclusions du groupe de travail*

**Le manganèse est retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.**

### Nickel

#### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Le nickel fait partie des polluants dont l'Anses (2012) recommandait la prise en compte dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières. Il a été identifié *via* le calcul d'un score de risque à partir de données de concentrations dans l'air, incluant la proximité au trafic routier, et des VTR disponibles.

#### *Argumentaire de sélection*

Le nickel métallique a été classé comme cancérigène probable par le CIRC en 1989, mais certains de ces composés (par exemple : oxyde de nickel, sulfate de nickel, acétate de nickel, chlorure de nickel...) sont d'ores et déjà considérés comme cancérigènes avérés pour l'humain. Des valeurs de référence à seuil et sans seuil ont été recensées pour des expositions par inhalation au nickel et à ses composés avec des effets immunologiques et pulmonaires, incluant des effets cancérigènes (Annexe 2).

Les concentrations observées en bords de routes sont généralement similaires aux concentrations en situation de fond (Annexe 3). Traditionnellement, le nickel est considéré bon traceur des sources industrielles et de la combustion de fioul lourd (LCSQA 2017a).

#### *Conclusions du groupe de travail*

**Le nickel n'est pas retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.** Cette sélection ne remet pas en cause les conclusions des précédents travaux Anses à l'origine de l'inclusion du nickel dans la liste d'intérêt. Les recommandations faites dans le cadre de précédents travaux sont toujours d'actualité, notamment celles qui visent à réduire au maximum les émissions et l'exposition à ce polluant.

### Titane

#### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Le titane fait partie des composés considérés comme d'intérêt par le groupe de travail en raison de sa fréquente utilisation dans les équipements (plaquettes et disques de freins, peintures de chaussées) et de la problématique sanitaire qui entoure l'utilisation du dioxyde de titane (TiO<sub>2</sub>) (Anses 2019c).

#### *Argumentaire de sélection*

La forme élémentaire du titane n'est pas classée comme agent cancérigène, mutagène, reprotoxique ou perturbateur endocrinien (Annexe 2). Le TiO<sub>2</sub> (dioxyde de titane) sous forme nanométrique est néanmoins considéré comme un cancérigène possible par le CIRC depuis 2006. Une valeur de référence à seuil pour des atteintes alvéolaires a été recensée pour une exposition chronique par inhalation au TiO<sub>2</sub> sous forme nanométrique.

Les concentrations rapportées au sein des sources documentaires ne montrent pas une influence claire du trafic routier (Annexe 3). Dans le projet Mocopo/PM DRIVE, les concentrations en titane en bords de routes étaient significativement supérieures à celles de

la situation de fond et étaient bien corrélées aux indicateurs de la source trafic routier (Charron *et al.* 2019). Cependant, les pics (maximas) de concentrations journalières étaient déconnectés du trafic routier et corrélés aux concentrations en aluminium, suggérant une source industrielle proche. De plus, les teneurs en titane dans les plaquettes et les disques de freins sont très faibles selon Hulskotte, Roskam et Denier van der Gon (2014).

#### *Conclusions du groupe de travail*

**Le titane n'est pas retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.** Cette sélection ne remet pas en cause les conclusions des précédents travaux Anses examinant le titane ou ses composés. Les recommandations faites dans le cadre de précédents travaux sont toujours d'actualité, notamment celles qui visent à réduire au maximum les émissions et l'exposition à ce polluant.

### Vanadium

#### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Dans Anses (2018a), le vanadium était classé parmi les polluants prioritaires en vue d'une surveillance, sur la base d'une hiérarchisation utilisant un calcul de score de risque à partir de données de concentration dans l'air et des VTR disponibles. Il est à noter que les valeurs de concentrations amenant des dépassements des VTR sélectionnées correspondaient à des mesures réalisées sous influence industrielle.

Une évaluation du poids des preuves contenues dans la littérature épidémiologique a conclu à un niveau d'indication « fort » d'effets du vanadium dans les particules de l'air ambiant sur la santé, en particulier sur la santé cardiovasculaire (Anses 2019b). Il est à noter que les résultats issus des études d'expérimentation chez l'animal ne soutenaient pas cette conclusion.

#### *Argumentaire de sélection*

La forme élémentaire du vanadium n'est pas classée comme agent cancérigène, mutagène, reprotoxique ou perturbateur endocrinien et elle ne dispose pas de VTR (Annexe 2). Des preuves d'effets de perturbation endocrinienne ont été observées *in vivo* chez l'animal. Le pentaoxyde de vanadium est quant à lui classé cancérigène possible par le CIRC depuis 2003 et dispose de VTR pour des expositions chroniques et aiguës par inhalation avec des effets respiratoires.

Les concentrations observées en bords de routes sont généralement similaires aux concentrations en situation de fond (Annexe 3). Traditionnellement, le vanadium est considéré comme traceur des sources industrielles et de la combustion de fioul lourds (raffinerie, centrales thermiques, transport maritime) (LCSQA 2017a).

#### *Conclusions du groupe de travail*

**Le vanadium n'est pas retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.** Cette sélection ne remet pas en cause les conclusions des précédents travaux Anses à l'origine de l'inclusion du vanadium dans la liste d'intérêt. Les recommandations faites dans le cadre de précédents travaux sont toujours d'actualité, notamment celles qui visent à réduire au maximum les émissions et l'exposition à ce polluant.

## Zinc

### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Une évaluation du poids des preuves contenues dans la littérature épidémiologique observationnelle a conclu à un niveau d'indication « modéré » d'effets du zinc dans les particules de l'air ambiant sur la santé, en particulier pour la santé cardiovasculaire à court terme (Anses 2019b). Il est à noter que les résultats issus des études d'expérimentation chez l'animal ne soutenaient pas cette conclusion.

### *Argumentaire de sélection*

Le zinc n'est pas classé comme agent cancérigène, mutagène, reprotoxique ou perturbateur endocrinien (Annexe 2). Des VTR chroniques par voie orale ont été recensées sur des effets hématologiques ; le zinc ne dispose pas de VTR par inhalation. Toutefois, des preuves d'effets cardiovasculaires des particules de zinc de l'air ambiant sur le court terme (niveau modéré) sont disponibles (Anses 2019b). L'ingestion d'eau ou d'aliments contaminés constitue en effet la principale voie d'exposition au zinc dans la population générale (i.e. non exposée professionnellement au zinc) (ATSDR 2005).

Les concentrations mesurées en bords de routes ne montrent pas une influence claire du trafic routier en raison des résultats hétérogènes observés au sein des sources documentaires consultées (Annexe 3). Le zinc est pourtant considéré comme un bon marqueur des émissions hors échappement du trafic routier (OCDE 2020). C'est un des métaux les plus abondants dans la composition des pneus et plaquettes de frein (avec le fer, le cuivre et l'étain) (Hulskotte, Roskam et Denier van der Gon 2014) et le secteur du transport routier est aujourd'hui le contributeur majoritaire aux émissions totales nationales (Citepa 2023). Par ailleurs, le zinc est un des rares polluants pour lesquels une stagnation voire augmentation des émissions serait possible à l'avenir. Ceci serait lié à l'électrification du parc qui pourrait conduire à une augmentation de la masse des véhicules et donc de la taille des pneus et du nombre de particules émises (OCDE 2020).

### *Conclusions du groupe de travail*

**Le zinc est retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.** Pour ce polluant, les avis des experts du groupe de travail ont prévalu sur la stricte application des critères de sélection.

#### 3.1.1.4 Particules et leurs composés

Le trafic routier est l'un des principaux émetteurs des particules et de carbone suie, en particulier en zone urbaine. Les particules proviennent d'une multitude de sources d'émission et de processus de transformation physico-chimiques dans l'atmosphère. Les émissions résultent de phénomènes naturels (sable de désert, sels marins, éruptions volcaniques, feux de forêts, etc.) et d'activités humaines (industries, transports, agriculture, chauffage, etc.). Les principales sources de carbone sont les moteurs diesel, la combustion de bois résidentiel et de charbon, les centrales utilisant du pétrole lourd ou centrales à charbon, le brûlage des résidus de l'agriculture et les feux de forêt (Anses 2019a).

Des variations saisonnières pourraient être attendues sur certaines localisations de fond en lien avec les sources d'émissions locales (ex : émission de carbone suie par le chauffage au bois).

## Carbone suie

### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Dans Anses (2018a), le carbone suie était classé parmi les polluants prioritaires en vue d'une surveillance dans l'air ambiant, sur la base de la littérature épidémiologique qui montre, de manière cohérente, l'existence d'effets sanitaires.

Une évaluation du poids des preuves contenues dans la littérature (épidémiologique et expérimentation animale) a conclu à un niveau de preuve « fort » des effets néfastes du carbone suie et/ou du carbone élémentaire dans les particules de l'air ambiant, notamment sur la santé respiratoire, la santé cardiovasculaire et la mortalité (Anses 2019b).

### *Argumentaire de sélection*

Le carbone suie<sup>18</sup> n'est pas classé comme agent cancérigène, mutagène, reprotoxique ou perturbateur endocrinien (Annexe 2). Néanmoins, les échappements des moteurs Diesel (auxquels l'indicateur carbone élémentaire est souvent associé), ainsi que les particules de l'air ambiant extérieur composées entre autres de carbone suie sont classés cancérigènes avérés par le CIRC depuis 2013. Une VTR pour le carbone suie des particules de l'air ambiant a été dérivée pour des effets sans seuils à court (hospitalisations de causes cardiovasculaires) et long termes (mortalité toutes causes non accidentelles) (Anses 2024b).

Les concentrations de carbone suie observées en bords de routes sont supérieures aux concentrations observées en situation de fond au sein des sources documentaires consultées (Annexe 3). On peut noter que le carbone suie est aussi fortement émis par le chauffage au bois, ce qui peut influencer localement les niveaux de concentration atmosphérique lors des saisons froides.

### *Conclusions du groupe de travail*

**Le carbone suie est retenu en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.**

## Particules ultrafines

### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Dans Anses (2018a), les particules ultrafines étaient classées parmi les polluants prioritaires en vue d'une surveillance, sur la base de la littérature épidémiologique qui montre l'existence d'effets sanitaires.

Une évaluation du poids des preuves contenues dans la littérature épidémiologique observationnelle a rapporté un niveau d'indication « modéré » d'effets sur la santé des particules ultrafines, notamment sur la santé cardiovasculaire (Anses 2019b). Ces conclusions étaient confortées par les niveaux d'indication issus des résultats d'études expérimentales chez l'animal.

### *Argumentaire de sélection*

Le CIRC a classé en 2013 la pollution atmosphérique, et en particulier les matières particulaires (dont les particules ultrafines font partie), comme cancérigènes pour l'homme (Annexe 2). Les particules ultrafines ne disposent pas de VTR ni de VGAI. Par ailleurs, le

---

<sup>18</sup> Le carbone suie est un composant de la matière particulaire. Il est constitué de carbone et divisé en fonction de sa capacité d'absorption de la lumière ou de son caractère plus ou moins réfractaire. Il est également cité dans la littérature sous les termes « carbone élémentaire » ou « black carbon » qui se distinguent par la méthode de mesure mise en œuvre.

niveau de preuve d'effets sanitaires liés à l'exposition aux particules ultrafines (PUF ou PNC) a été jugé « modéré » pour la santé cardiovasculaire en lien avec une exposition à court terme (augmentation du risque de mortalité et d'hospitalisation pour causes cardiovasculaires) et pour la santé neurologique pour une exposition long terme (altération du développement des performances cognitives chez l'enfant) (US EPA 2019 ; Anses 2019b).

Les concentrations de particules ultrafines mesurées en situation trafic sont généralement supérieures à celles mesurées en situation de fond (Annexe 3). Les particules émises par le trafic routier sont en grande partie des ultrafines (Kittelson 1998) et des travaux récents ont montré que les filtres à particules des véhicules routiers auraient un impact relativement limité sur les concentrations atmosphériques en particules ultrafines (Damayanti *et al.* 2023).

#### *Conclusions du groupe de travail*

**Les particules ultrafines sont retenues en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.**

### PM<sub>10</sub>

#### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Les PM<sub>10</sub> font partie des polluants dont l'Anses (2012) recommandait la prise en compte dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières, compte tenu de leur inclusion historique dans les études d'impact passées et de l'enjeu de santé publique qu'elles représentent.

#### *Argumentaire de sélection*

Le CIRC a classé en 2013 la pollution atmosphérique, et en particulier les particules, comme cancérogènes pour l'homme (Annexe 2). Des VTR ont récemment été dérivées pour des expositions par inhalation à court (hospitalisations de causes cardiaques) et long terme (mortalité toutes causes) (Anses 2024a).

Les concentrations mesurées en situation trafic sont supérieures à celles mesurées en situation de fond (Annexe 3). On peut noter que les PM<sub>10</sub> sont aussi émises par le chauffage au bois, ce qui peut influencer localement les niveaux de concentration atmosphérique lors des saisons froides.

#### *Conclusions du groupe de travail*

**Les PM<sub>10</sub> sont retenues en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.**

### PM<sub>2,5</sub>

#### *Origine du polluant dans la liste d'intérêt*

Les PM<sub>2,5</sub> font partie des polluants dont l'Anses (2012) recommandait la prise en compte dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières, compte tenu de leur inclusion historique dans les études d'impact passées et de l'enjeu de santé publique qu'elles représentent.

#### *Argumentaire de sélection*

Le CIRC a classé en 2013 la pollution atmosphérique, et en particulier les particules, comme cancérogènes pour l'homme (Annexe 2). Des VTR ont récemment été dérivées pour des expositions par inhalation à court (hospitalisations de causes cardiaques) et long terme (mortalité toutes causes) (Anses 2024a).

Les concentrations mesurées en situation trafic sont supérieures à celles mesurées en situation de fond (Annexe 3).

### Conclusions du groupe de travail

**Les PM<sub>2,5</sub> sont retenues en vue d'une évaluation des risques sanitaires au regard des enjeux de l'expertise.**

## 3.2 Conclusions

### ■ Polluants retenus en vue d'une évaluation des risques sanitaires

Au regard des critères considérés dans la stratégie de sélection, 24 polluants ont finalement été retenus en vue d'une évaluation des risques sanitaires. Une synthèse des arguments de sélection est disponible dans le Tableau 6 ; la liste des polluants retenus est présentée dans la Figure 4.

**Tableau 6. Synthèse des arguments de la stratégie de sélection des polluants pour l'évaluation des expositions et des risques**

	Polluants d'intérêt	Faisabilité de réalisation de l'évaluation des risques <i>Disponibilité de valeur sanitaire de référence ou mise en évidence d'un niveau de preuve d'effet sanitaire jugé suffisant</i>	Spécificité vis-à-vis de la source trafic routier <i>Comparaison des concentrations mesurées à proximité du trafic et en situation de fond</i>	Conclusion de la stratégie de sélection
Aldéhydes	Acétaldéhyde	Classé cancérigène possible   VTR à seuil pour des expositions aiguës par inhalation   VTR sans seuil pour des expositions chroniques par inhalation	Concentrations similaires en situation trafic et en situation fond	Non retenu
	Acroléine	Classé cancérigène probable   VTR à seuil pour des expositions aiguës et (sub-)chronique par inhalation	Concentrations similaires en situation trafic et en situation fond	Non retenu
	Formaldéhyde	<b>Classé cancérigène avéré   VTR à seuil et sans seuil pour des expositions chroniques par inhalation</b>	<b>Concentrations en situation trafic supérieures à la situation fond</b>	<b>Retenu</b>
	Propionaldéhyde	Pas de classification   VTR à seuil pour une exposition chronique par inhalation	Concentrations similaires en situation trafic et en situation fond	Non retenu
Composés inorganiques	Ammoniac	<b>Pas de classification   VTR à seuil par inhalation pour une exposition aiguë et chronique</b>	<b>Concentrations en situation trafic supérieures à la situation fond</b>	<b>Retenu</b>
	Dioxyde d'azote	<b>Pas de classification   Valeurs guides de l'OMS pour des expositions par inhalation à court et long terme</b>	<b>Concentrations en situation trafic supérieures à la situation fond</b>	<b>Retenu</b>
	Ions nitrates	<b>Pas de classification   VTR à seuil pour des expositions aiguës et chroniques par ingestion</b>	<b>Concentrations en situation trafic supérieures à la situation fond</b>	<b>Retenu</b>
Hydrocarbures	Anthracène	Pas de classification   VTR sans seuil pour des expositions chroniques par inhalation*	Concentrations en situation trafic supérieures à la situation fond	Retenu
	Benzo[a]-anthracène	Classé cancérigène possible   VTR sans seuil pour des expositions chroniques par inhalation*	Concentrations en situation trafic supérieures à la situation fond	Retenu
	Benzo[a]pyrène	Classé cancérigène avéré   VTR à seuil et sans seuil pour des expositions chroniques par inhalation	Concentrations similaires en situation trafic et en situation fond	Non retenu
	Fluoranthène	Inclassable quant à sa cancérigénicité   VTR sans seuil pour des expositions chroniques par inhalation*	Concentrations en situation trafic supérieures à la situation fond	Retenu
	Naphtalène	Classé cancérigène possible   VTR à seuil et sans seuil pour des expositions chroniques par inhalation	Concentrations en situation trafic supérieures à la situation fond	Retenu



	Polluants d'intérêt	Faisabilité de réalisation de l'évaluation des risques <i>Disponibilité de valeur sanitaire de référence ou mise en évidence d'un niveau de preuve d'effet sanitaire jugé suffisant</i>	Spécificité vis-à-vis de la source trafic routier <i>Comparaison des concentrations mesurées à proximité du trafic et en situation de fond</i>	Conclusion de la stratégie de sélection
	Phrénanthrène	Pas de classification   VTR sans seuil pour des expositions chroniques par inhalation*	Concentrations en situation trafic supérieures à la situation fond	Retenu
	Pyrène	Inclassable quant à sa cancérogénicité   VTR sans seuil pour des expositions chroniques par inhalation*	Concentrations en situation trafic supérieures à la situation fond	Retenu
	1,3-butadiène	Classé cancérogène   VTR à seuil et sans seuil pour des expositions chroniques par inhalation	Concentrations similaires en situation trafic et en situation fond	Non retenu
	Benzène	Classé cancérogène   VTR sans seuil pour des expositions chroniques par inhalation   VTR à seuil pour des expositions aiguës et chroniques par inhalation	Concentrations en situation trafic supérieures à la situation fond	Retenu
	Ethylbenzène	Classé cancérogène probable   VTR sans seuil pour des expositions chroniques par inhalation   VTR à seuil pour des expositions aiguës et chroniques par inhalation	Concentrations en situation trafic supérieures à la situation fond	Retenu
Métaux	Aluminium	Pas de classification   VTR à seuil pour une exposition chronique par ingestion	Influence peu claire du trafic routier sur les concentrations en situation trafic <sup>(1)</sup>	Non retenu
	Antimoine	Pas de classification   VTR à seuil pour des expositions aiguës et chronique par inhalation	Concentrations en situation trafic supérieures à la situation fond	Retenu
	Arsenic	Classé cancérogène   VTR à seuil et sans seuil pour des expositions chroniques par inhalation   VTR à seuil pour des expositions aiguës par inhalation	Concentrations similaires en situation trafic et en situation fond	Non retenu
	Baryum	Pas de classification   VTR à seuil pour des expositions chroniques par inhalation	Concentrations en situation trafic supérieures à la situation fond	Retenu
	Chrome	Inclassable quant à sa cancérogénicité **   VTR*** à seuil et sans seuil pour des expositions (sub-) chroniques par inhalation	Concentrations en situation trafic supérieures à la situation fond	Retenu
	Cobalt	Classé cancérogène probable†   VTR‡ à seuil et sans seuil pour des expositions chroniques par inhalation	Influence peu claire du trafic routier sur les concentrations en situation trafic <sup>(1)</sup>	Non retenu
	Cuivre	Pas de classification   VTR*** à seuil pour des expositions aiguës et chroniques par inhalation	Concentrations en situation trafic supérieures à la situation fond	Retenu
	Etain	Pas de classification**   VTR*** à seuil pour des expositions (sub-)chroniques par inhalation	Concentrations en situation trafic supérieures à la situation fond	Retenu
	Fer	Pas de classification   Pas de VTR recensée   Niveau de preuve épidémiologique d'effets sanitaires du fer des particules de l'air ambiant + fer incriminé dans le potentiel oxydant des particules	Concentrations en situation trafic supérieures à la situation fond	Retenu
	Manganèse	Pas de classification   VTR à seuil pour des expositions chroniques par inhalation	Concentrations en situation trafic supérieures à la situation fond	Retenu
	Nickel	Classé cancérogène possible**   VTR‡ à seuil pour des expositions aiguës et chroniques par inhalation   VTR sans seuil pour des expositions chroniques par inhalation	Concentrations similaires en situation trafic et en situation fond	Non retenu
Titane	Pas de classification**   VTR*** à seuil pour une exposition chronique par inhalation	Influence peu claire du trafic routier sur les concentrations en situation trafic <sup>(1)</sup>	Non retenu	

	Polluants d'intérêt	Faisabilité de réalisation de l'évaluation des risques <i>Disponibilité de valeur sanitaire de référence ou mise en évidence d'un niveau de preuve d'effet sanitaire jugé suffisant</i>	Spécificité vis-à-vis de la source trafic routier <i>Comparaison des concentrations mesurées à proximité du trafic et en situation de fond</i>	Conclusion de la stratégie de sélection
	Vanadium	Pas de classification**   VTR*** à seuil pour des expositions chroniques et aiguës par inhalation	Concentrations similaires en situation trafic et en situation fond	Non retenu
	Zinc	Pas de classification   VTR à seuil pour des expositions chroniques par voie orale	Influence peu claire du trafic routier sur les concentrations en situation trafic <sup>(1)</sup>	Retenu
Particules et leurs composés	Carbone suie	Pas de classification   VTR sans seuil pour des expositions à court terme et long terme par inhalation	Concentrations en situation trafic supérieures à la situation fond	Retenu
	Particules ultrafines	Pas de classification   Pas de VTR disponible#   Niveau de preuve épidémiologique d'effets sanitaires des particules ultrafines	Concentrations en situation trafic supérieures à la situation fond	Retenu
	PM <sub>10</sub>	Classé cancérigène   VTR sans seuil pour des expositions à court terme et long terme par inhalation	Concentrations en situation trafic supérieures à la situation fond	Retenu
	PM <sub>2,5</sub>	Classé cancérigène   VTR sans seuil pour des expositions à court terme et long terme par inhalation	Concentrations en situation trafic supérieures à la situation fond	Retenu

OMS : Organisation Mondiale de la Santé ; VTR : valeur toxicologique de référence. <sup>(1)</sup> résultats hétérogènes selon les sources de données ou les localisations \* Construite à partir de celle du benzo(a)pyrène via l'application d'un facteur d'équivalence toxique. \*\* Pour la forme élémentaire. \*\*\* Considérant des formes spécifiques. † Pour la forme élémentaire et sels solubles ‡ Pour la forme élémentaire et des formes spécifiques. # En cours de construction par l'Anses.

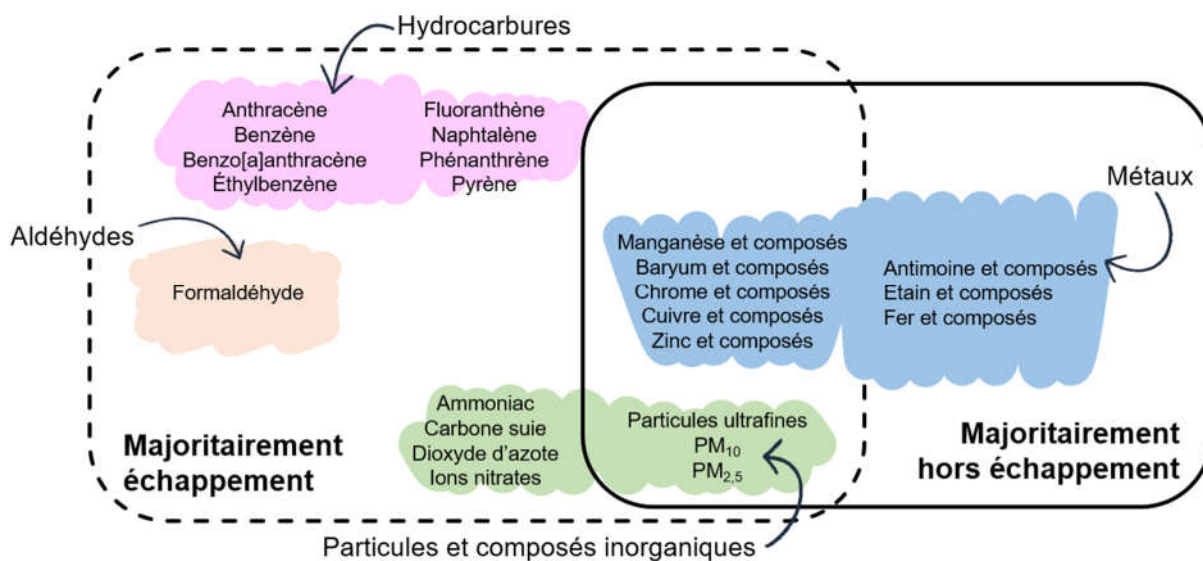


Figure 4. Liste des 24 polluants retenus en vue d'une évaluation des risques sanitaires

Pour certains polluants retenus, des limites pourraient freiner l'évaluation des expositions (limites métrologiques) ou la caractérisation des risques (absence de valeurs de référence par inhalation). Le GT rappelle aussi que la stratégie de sélection considère les caractéristiques des polluants pris individuellement. Dans le cas des HAP, il aurait été possible de considérer le mélange dans son ensemble au prix de l'inclusion de polluants peu spécifiques de la source d'intérêt (trafic routier). Cette sélection ne remet pas en cause les conclusions des précédents travaux sur les enjeux sanitaires associés aux polluants non retenus.



### ■ Observations du groupe de travail sur les polluants non retenus

En dépit de sa spécificité vis-à-vis de la source trafic routier, l'absence de valeurs sanitaires de référence et de niveau de preuve d'effets sanitaires pour l'aluminium n'ont pas permis de le retenir pour la suite de l'exercice.

Parmi les polluants de la liste d'intérêt, certains n'ont pas été retenus pour leur manque de spécificité vis à vis de la source trafic routier : acétaldéhyde, acroléine, propionaldéhyde et titane.

Le groupe de travail note qu'une tendance à l'augmentation des émissions d'acétaldéhyde par le trafic routier serait possible à moyen terme en lien avec le passage de biocarburant E10 en E20<sup>19</sup> couplé à l'augmentation de la part des véhicules essence dans le parc national – qui sera certainement contrebalancée par l'électrification du parc à plus long terme.

Plus largement, le groupe de travail indique que l'évolution du parc automobile et des infrastructures routières ainsi que le dérèglement climatique pourraient, à plus ou moins long terme, faire évoluer cette liste de polluants d'intérêt en lien avec la source trafic routier.

---

<sup>19</sup> L'acétaldéhyde émis par le trafic routier provient des composés oxygénés et notamment de l'ajout d'éthanol dans l'essence.

## 4 Population d'étude

Les éléments présentés dans ce chapitre visent à **décrire de façon globale les circonstances dans lesquelles les travailleurs peuvent être exposés à la pollution issue du trafic routier**. Aussi elle ne rend pas compte de manière exhaustive de l'ensemble des situations d'exposition professionnelle à la pollution atmosphérique issue du trafic routier ni de l'ensemble des travailleurs concernés.

### 4.1 Définition de la population d'étude

Les travailleurs dont les activités professionnelles se déroulent en extérieur ou dans l'habitacle d'un véhicule, tels que les conducteurs professionnels, agents de police, facteurs, opérateurs de péage, agents municipaux, vendeurs ambulants et agents de service sont soumis aux émissions issues du trafic routier de par la proximité des sites où se déroulent leurs activités professionnelles avec les axes routiers. Il existe à l'heure actuelle peu d'études qui se sont attachées à caractériser leurs expositions et le lien avec des indicateurs de santé, les études existantes s'appuyant sur des protocoles hétérogènes et sur des effectifs souvent réduits (CIRC 2015). De nombreuses recherches conduites sur les concentrations dans l'habitacle de véhicules montrent qu'elles sont souvent plus élevées que celles dans l'air extérieur (Faber *et al.* 2014; Knibbs, Cole-Hunter et Morawska 2011; Leavey *et al.* 2017; Mehel *et al.* 2019; Ravelomanantsoa *et al.* 2021; Mehel *et al.* 2024).

L'objectif du présent rapport est d'évaluer l'excès de risque sanitaire potentiel lié à l'exposition professionnelle aux polluants issus du trafic routier en comparaison avec une population de référence, non exposée professionnellement. L'exposition professionnelle à la pollution issue du trafic routier concerne tout travailleur qui exerce tout ou partie de ses activités professionnelles sur ou à proximité de routes en présence de circulation routière.

Sur la base de ce constat, le GT a fait le choix de circonscrire la population d'étude aux métiers pour lesquels l'exposition à la pollution issue du trafic routier représente une forte proportion de leur temps de travail. L'objectif est de cibler des activités professionnelles pour lesquelles les niveaux d'exposition attendus à la pollution issue du trafic routier sont plus élevés qu'au sein de la population générale.

Cette expertise s'est ainsi attachée à couvrir une diversité de métiers et de secteurs en France permettant de représenter différentes situations d'exposition à la pollution issue du trafic routier incluant le travail au bord ou à proximité du flux de trafic et/ou dans le flux de trafic. Les secteurs et exemples d'activités et de métiers pour lesquels des données ont pu être collectées sont présentés dans le Tableau 7.

Tableau 7. Secteurs, activités et métiers pour lesquels des données ont pu être collectées

Secteurs	Exemples d'activités	Exemples de métiers
<i>Exploitation et entretien des routes et de la voirie</i>	Exploitation, patrouillage, entretien, viabilité, surveillance, maintenance des équipements routiers (feux tricolores, tunnels)	Agents d'exploitation des routes / Patrouilleur/ouvrier autoroutier / Agents d'entretien-balitage des voies rapides, Agent sécurité patrouilles voies rapides et tunnels ; Chef d'équipe (encadrant d'exploitation) ; Technicien de maintenance / Ouvrier maintenance voirie ; Électricien signalisation tricolore
<i>Assainissement et entretien de l'espace public</i>	Collecte des déchets, balayage et nettoyage des voiries et trottoirs	Éboueurs (ripeurs), Conducteurs de benne à ordures ménagères, Agents de nettoyage des voiries et des espaces publics
<i>Transport routier de voyageurs</i>	Conduite de bus, cars scolaire, cars de tourisme, taxis	Conducteur en périodes scolaires ; Conducteur de tourisme; Conducteur de ligne régulière; Conducteurs de personnes à mobilité réduite ; Conducteurs de taxis (et chauffeurs VTC <sup>20</sup> )
<i>Transport routier de marchandises</i>	Conduite de poids lourds, camionnettes, motos, vélos	Conducteurs de transport routier de marchandises, Facteurs, Livreurs des plateformes de livraison

## 4.2 Documentation

Les données présentées sont essentiellement issues des informations recueillies dans le cadre d'auditions et de consultations de fédérations professionnelles et représentants de secteurs d'activités professionnelles variées : exploitation, entretien et maintenance de la voirie, transport de personnes, transport/livraison de marchandises, collecte de déchets, etc. Elles ont été complétées par les informations disponibles dans des études spécifiques (conducteurs de taxis, livreurs de plateformes, transport routier de marchandises), les conventions collectives propres à certains secteurs d'emploi (conducteur de transport de marchandises ou conducteur de taxi) et des fiches médico-professionnelles<sup>21</sup> (ripeur, chauffeur de poids-lourd, conducteur d'autobus ou de taxi). Les sources documentaires sont précisées dans le Tableau 8 par secteurs d'activités.

Tableau 8. Sources documentaires sur les métiers et activités par secteurs

Secteurs	Documentation
<i>Exploitation et entretien des routes et de la voirie</i>	Audition des Directions interdépartementales des routes (DIR) ; Consultations de l'Association des sociétés françaises d'autoroutes (ASFA) et de La Métropole de Lyon
<i>Assainissement et entretien de l'espace public</i>	Consultation de La Métropole de Lyon ; fiches médico-professionnelles (ripeur, conducteur de benne à ordures ménagères)
<i>Transport routier de voyageurs</i>	Audition de la fédération nationale des transports de voyageurs (FNTV) ; étude PUF-Taxis (Hachem <i>et al.</i> 2021) ; Convention collective nationale des taxis du 11 septembre 2001 / IDCC 2219 / <a href="https://www.legifrance.gouv.fr/conv_coll/id/KALICONT000021125058?idConteneur=KALICONT000021125058&amp;origin=list">https://www.legifrance.gouv.fr/conv_coll/id/KALICONT000021125058?idConteneur=KALICONT000021125058&amp;origin=list</a> ; fiches médico-professionnelles (chauffeur de poids-lourd, conducteur d'autobus ou de taxi)
<i>Transport routier de marchandises</i>	Consultation de La Poste ; Données sociales du transport routier de marchandises (Datalab 2022) ; Convention collective nationale des transports routiers et activités auxiliaires du transport du 21 décembre 1950 / IDCC 16 <a href="https://www.legifrance.gouv.fr/conv_coll/id/KALICONT000005635624">https://www.legifrance.gouv.fr/conv_coll/id/KALICONT000005635624</a>

<sup>20</sup> VTC : voitures de transport avec chauffeur

<sup>21</sup> Fiches médico professionnelles consultables sur : <https://www.fmppresanse.fr>

Dans le cadre des auditions et consultations, la collecte d'informations a été réalisée sur la base d'une trame de questionnaire transmise et complétée par les différents interlocuteurs ciblés. Le questionnaire comportait deux parties : une première partie relative à la description des postes de travail impliquant la réalisation d'activités exposant à la pollution issue du trafic routier (effectifs, âge, sexe, ...) et une seconde relative à la description des activités ou tâches réalisées sur et à proximité de routes sous circulation (horaires, durées, fréquences, environnements de travail, ...). La trame de questionnaire est disponible Annexe 4. La Figure 5 propose une synthèse des données demandées par activité et métier.

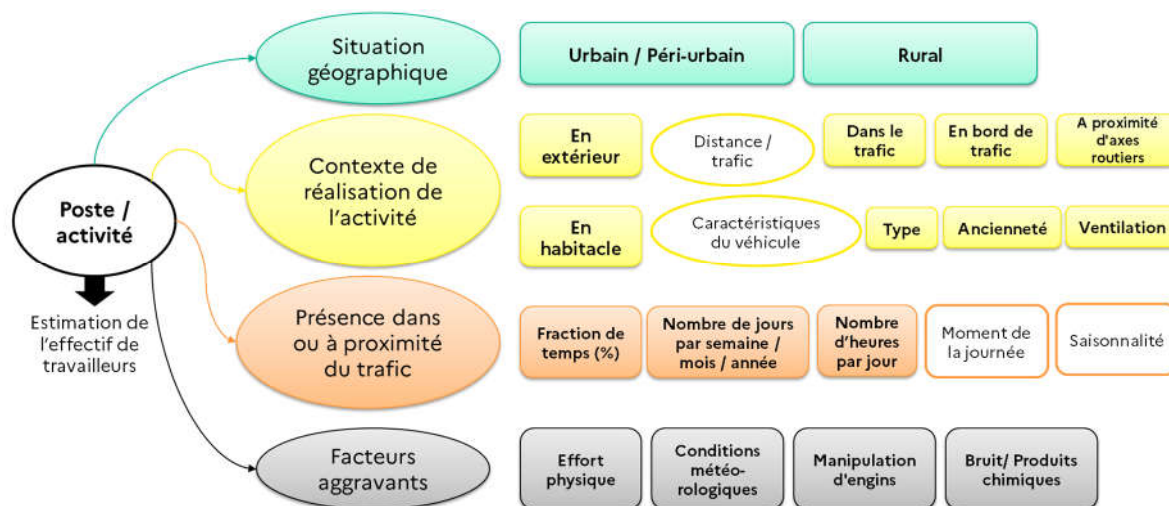


Figure 5. Synthèse des données demandées par activité et métier dans le questionnaire

Les données collectées (âge, durée de la carrière, horaires de travail) représentent des moyennes et sont hétérogènes selon les métiers. S'agissant des informations sur la fréquence de temps passé à proximité ou dans le trafic routier, il ressort une variabilité du nombre d'heures estimées (journalières, hebdomadaires et/ou annuelles) pour un même métier selon les répondants. Il n'a pas été possible d'estimer de façon précise le nombre de travailleurs, l'affiliation ou le statut des salariés (sous-traitants, prestataires, etc.) en France par secteurs ni métiers à partir des informations disponibles.

### 4.3 Description des métiers et activités réalisées sur ou en proximité de trafic routier

Une synthèse des informations collectées pour les différentes activités est proposée ci-après. Les métiers ou activités ont été regroupés selon leur profil d'exposition à la pollution issue du trafic routier : soit une activité principale exposante (Tableau 9 et Tableau 10), soit différentes activités exposantes (Tableau 11). Des informations plus détaillées sont disponibles en Annexe 5.

Tableau 9. Description des métiers dont l'activité principale exposante a lieu dans le trafic routier

Activité principale exposante → <b>CONDUITE ET MANŒUVRE EN SECURITE DE TOUT TYPE DE VEHICULES DE TRANSPORT</b>	
<b>Métiers / Evaluation globale du temps de travail à partir des déclarations</b>	<b>Commentaires, spécificités</b>
<b>Conducteur de transport routier de voyageurs</b> Conducteur en période scolaire <b>4,4 h/j, 4 j/sem, 180 j/an, ≥ 800h/an [temps partiel]</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Véhicule → <b>PL</b> : Autobus, autocar</li> <li>• Le conducteur de transports en commun assure les opérations de conduite du transport routier de voyageur en service urbain, interurbain, régional, national ou international.</li> <li>• Conditions de travail spécifiques des contrats de conducteurs</li> <li>• Les effectifs de conducteurs représentés par la FNTV sont estimés à environ <b>85 000 salariés</b> ; l'âge moyen est de 50 ans (12 % des salariés ont moins de 35 ans) et la féminisation est faible (25 %) ; l'ancienneté moyenne au poste est de 8 ans et 3 mois (29 % des travailleurs ont plus de 10 ans d'ancienneté).</li> <li>• La saisonnalité conditionne les besoins de transport scolaire et de transport touristique.</li> </ul>
Conducteur de tourisme <b>&lt; 18h/j, 5 j/sem, 253 j/an, 1607h/an [temps plein]</b>	
Conducteur de lignes régulières (régionales, nationales ou internationales) <b>6,4 h/j, 5 j/sem, 253 j/an, 1607h/an [temps plein]</b>	
Conducteur de Personnes à Mobilité Réduite <b>&gt; 3h/j, 4 j/sem, 180 j/an, ≥ 550h/an [temps partiel]</b>	
<b>Conducteur de taxis (et chauffeurs VTC)</b> <b>10 à 11 h/j, 6 j/sem, 3333 h/an [tous statuts confondus]</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Véhicule → <b>VP</b> : Automobile</li> <li>• Différents statuts professionnels pour les taxis : artisan, détenteur de licence ou non, locataire, salarié, coopérateur.</li> <li>• Toutes heures, jour/nuit, dimanche et jours fériés – <b>travail de nuit</b></li> <li>• En 2022, la France compte plus de <b>62 000 taxis</b> dont près de 20 000 exerçant en Ile de France. Plus de <b>47 000 chauffeurs VTC</b> actifs sur les plateformes sont dénombrés ; leur activité est concentrée en région francilienne et dans les grandes métropoles.</li> </ul>
<b>Conducteur de transport routier de marchandises</b> Conducteur courte distance <b>5h11/j, 16,2 j/ mois, 1007 h/an</b> Conducteur grand routier/longue distance <b>6h50/j, 17,4 j/ mois, 1420 h/an</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Véhicule → <b>PL</b> : Camion (et VUL pour les courtes distances)</li> <li>• Toutes heures, jour/nuit, dimanche et jours fériés - <b>Travail de nuit</b> : en 2020, environ 10 % des salariés effectuent la moitié de leurs heures ou plus entre minuit et 5h du matin</li> <li>• Fin 2020, environ <b>315 000 conducteurs salariés</b> (hors intérim) dans le secteur du transport routier de fret élargi sont dénombrés.</li> </ul>
<b>Conducteur de bennes à ordures ménagères</b> <b>6 h/j ; 5 à 6 j / sem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Véhicule → <b>PL</b> : Camion-benne</li> <li>• 1 tournée par jour : les horaires des tournées varient en fonction de la commune, de la saison, du producteur et du type de déchets à collecter – travail possible le week-end et les jours fériés</li> </ul>
<b>Facteur, livreur</b> <b>5 h/j ; 5 j/sem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Véhicule → <b>VP ou VUL</b> (≈50 %) : Automobile, camionnette / <b>Deux-roues</b> : Vélos (≈30 %), Motos (≈10 %)</li> <li>• 2 activités principales : distribution au client de produits, lettres ou colis ; services au domicile des personnes</li> <li>• les effectifs de facteurs de La Poste sont estimés à environ <b>65 000 salariés</b></li> <li>• l'âge moyen est 46,7 ans et la proportion d'hommes est légèrement majoritaire (53 %) ; l'ancienneté au poste est supérieure à 20 ans pour 48 % des facteurs</li> </ul>
<b>Livreur de plateformes de livraison de repas</b> <b>&gt; 8 h/j ; &gt; 5 j / sem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Véhicule → <b>Deux-roues</b> : vélos et motos principalement</li> <li>• Différents statuts de livreurs : salariés, autoentrepreneurs, étudiants, cumul d'activités...</li> <li>• Les livreurs autoentrepreneurs travaillent plus de jours au cours d'une semaine et plus d'heures par jour</li> </ul>

FNTV : Fédération National du Transport de Voyageurs ; VP : véhicules particuliers ; VUL : véhicule utilitaire léger ; PL : poids lourds. VTC : voitures de transport avec chauffeur.

Tableau 10. Description des métiers dont l'activité principale exposante a lieu en bordure de trafic routier

Métier	Activité principale exposante / Evaluation globale du temps de travail à partir des déclarations	Commentaires, spécificités, particularités
Eboueur (ripeur)	<p>→ <b>COLLECTE DES ORDURES MENAGERES</b> 6 h/j ; 5 à 6 j/sem</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 tournée par jour : les horaires des tournées varient en fonction de la commune, de la saison, du producteur et du type de déchets à collecter – travail possible le week-end et les jours fériés.</li> <li>• Marche, manipulation de bacs, déplacement de charges.</li> <li>• Exposition aux gaz d'échappement de la benne à ordures ménagères.</li> <li>• Exposition occasionnelle à des déchets dangereux</li> </ul>
Agent de nettoieement	<p>→ <b>BALAYAGE ET NETTOYAGE DES VOIRIES ET TROTTOIRS</b> Balayage et piquetage des déchets et gestion du végétal 6 h/j ; 5,5 j/sem</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Travail à pied : ramassage des déchets situés sur les trottoirs et dans le caniveau ; utilisation d'outils manuels (pelle, balai, pince et chariot) et motorisés (souffleur, coupe bordure...).</li> <li>• Travail au volant d'une balayeuse : aspiration des déchets dans le caniveau, sur les places, les pistes cyclables, ou les voies piétonnes.</li> <li>• Travail à pied : nettoyage du trottoir avec une lance haute pression attachée à une balayeuse ; la balayeuse suit l'agent et aspire les déchets poussés dans le caniveau par le lancier.</li> </ul>
	<p>Conduite de balayeuses 5 h/j ; 3 j/sem</p>	
	<p>Lavage / ramassage 3 h/j ; 1 j/sem</p>	

Tableau 11. Description des métiers avec plusieurs activités exposantes qui se déroulent dans et en bordure de trafic routier

Métiers (organismes consultés)	Activités exposantes							Fréquence déclarée de présence sur ou à proximité de routes sous circulation
	Exploitation de la route	Viabilité hivernale	Surveillance technique	Patrouille	Entretien	Suivi de chantier	Dépendances	
Agents d'exploitation des routes (DIR)								140 à 210 j/an en moyenne
Patrouilleur/ouvrier autoroutier (ASFA)								187 j/an en moyenne
Agents d'entretien-balisage des voies rapides (Métropole de Lyon)								Non communiqué
Agent sécurité patrouilles (Métropole de Lyon)								Non communiqué
Chef d'équipe encadrant d'exploitation (DIR)								100 à 200 j/an en moyenne
Chef d'équipe (ASFA)								187 j/an en moyenne
Technicien de maintenance (DIR)	• Maintenance des équipements dynamiques							50 à 210 j/an
Ouvrier maintenance voirie (Métropole de Lyon)	• Pose de mobilier urbain et signalisation verticale • Marquage routier • Balisage et sécurisation du domaine public • Fauchage manuel et mécanisé des accotements							quotidienne
Électricien signalisation tricolore (Métropole de Lyon)	• Maintenance feux tricolores et bornes escamotables • Balisage et sécurisation domaine public							quotidienne
<b>Légende :</b>		<i>Activités principales</i>				<i>Activités secondaires (représentent une faible proportion du temps de travail)</i>		

ASFA : Association des sociétés françaises d'autoroutes ; DIR : directions interdépartementales des routes.



Tableau 12. Description des activités exposantes pour les métiers avec plusieurs activités exposantes

Descriptif des activités exposantes	Commentaires, spécificités, particularités
<b>Exploitation de la route</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pose / dépose de signalisation temporaire (pose de cônes et panneaux) dans le cadre de chantiers programmés ou lors d'interventions sur accidents / incidents (protection des véhicules accidentés).</li> <li>• Nettoyage de zones après interventions / intervention sur accident dont remise en état de la chaussée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variabilité horaire des interventions réalisées : plus il y a de trafic/congestion, plus les agents interviennent (en fréquence et en nombre)</li> <li>• Selon les zones géographiques, des variations mensuelles du niveau d'activité peuvent s'observer (pics durant la période estivale au niveau des axes de migrations importants)</li> </ul>
<b>Entretien chaussées / ouvrages d'art</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Travaux de réparation et d'entretien des chaussées : bouchage de trous, purges localisées...</li> <li>• Travaux de réparation et d'entretien des ouvrages d'art /plateforme routière</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les chantiers sont organisés en période clémente ; en général pas en hiver, ni durant les mois de juillet et août.</li> <li>• Les chantiers en zone urbaine sont plutôt réalisés de nuit.</li> </ul>
<b>Entretien dépendances</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dépendances vertes : fauchage débroussaillage mécanisé (tracteur, outillage portatif thermique et électrique), élagages, clôtures</li> <li>• Dépendances bleues : entretien et surveillance du réseau d'assainissement (curage fossé, caniveaux, bassin, fonctionnement des vannes, nettoyage du fond et des abords, ouvrages spécifiques, équipements électromécaniques, stations de relevage)</li> <li>• Aires de repos et abords des routes : entretien sanitaires, collecte poubelles et déchets divers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manipulation d'engins et de produits chimiques régulière.</li> </ul>
<b>Patrouillage</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Surveillance du réseau en circulant à bord d'un véhicule motorisé pour identifier les anomalies / défauts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Activités réalisées à bord d'un véhicule utilitaire léger/fourgon dont l'habitacle est fermé</li> </ul>
<b>Viabilité hivernale</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Traitement des routes en viabilité hivernale : salage, raclage des chaussées (engin de service hivernal dit « chasse-neige »)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Activités se déroulant du 15/11 au 15/03 (29/10 au 05/05 en zone de montagne), à toutes heures de la journée mais principalement la nuit.</li> <li>• variations géographiques = activités minoritaires en Ile-de-France mais très importantes en zone de montagne</li> </ul>
<b>Surveillance</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Surveillance technique, mesures, contrôle des activités de l'exploitation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Activités de supervision se déroulant toute l'année 1 à 3 jours /semaine, en journée (10h-17h)</li> </ul>
<b>Suivi de chantiers</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Surveillance des travaux neufs réalisés en régie ou confiés à des entreprises extérieures (ouvrages d'art, chaussées...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Activités se déroulant toute l'année, 1 à 3 jours par semaine</li> <li>• Les chantiers sont organisés en période clémente = ni en hiver, ni durant les mois de juillet et août.</li> <li>• Les chantiers en zone urbaine sont plutôt réalisés de nuit.</li> </ul>
<b>Maintenance des équipements dynamiques</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entretien et réparation des équipements dynamiques : panneaux à messages variables, systèmes de mesure du trafic routier, caméras de surveillance routière, éléments de signalisation en tunnel...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Activités se déroulant toute l'année, 3 à 6 h/j, 1 à 3 j par semaine, en journée ou de nuit</li> <li>• Spécificité des activités de maintenance réalisées dans les tunnels = en espace clos/confiné</li> <li>• Utilisation des dégraissants / lubrifiants pour la maintenance des équipements.</li> </ul>



## 4.4 Conclusions

### ■ Définition de circonstances d'exposition professionnelle

En combinant les informations relatives aux activités et aux environnements de travail, le GT a défini trois grandes circonstances d'exposition professionnelle à la pollution issue du trafic routier, pour des activités représentant au moins 75 % du temps de travail :

- Circonstance « Extérieur » : activités réalisées en extérieur sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier ;
- Circonstance « Habitacle » : activités dans l'habitacle d'un véhicule sur les voies de circulation ;
- Circonstance « Mixte » : activités réalisées en extérieur sur les voies ou à proximité du trafic routier et activités dans l'habitacle d'un véhicule sur les voies, avec une répartition du temps de travail variable.

La répartition des métiers documentés au sein de ces trois catégories est présentée dans le Tableau 13. Plus largement, ces circonstances d'exposition peuvent correspondre à d'autres métiers ou activités non documentés dans le cadre de cette expertise. Elles constituent le socle à partir duquel le GT a élaboré les différents scénarios d'exposition en vue de la caractérisation des risques.

**Tableau 13. Circonstances d'exposition professionnelle à la pollution issue du trafic routier considérées selon les populations**

	Extérieur majoritaire	Habitacle majoritaire	Mixte
Définition de la circonstance d'exposition	> 75 % du temps de travail passé en extérieur dans ou en proximité de trafic	> 75 % du temps de travail passé dans l'habitacle d'un véhicule dans le trafic	> 75 % du temps de travail réparti de 25 à 75 % entre activités en extérieur en proximité de trafic ET activités dans l'habitacle d'un véhicule dans le trafic
Exemples de métiers représentés	Éboueurs Balayeurs Livreurs des plateformes	Conducteurs de véhicules de transport de passagers (bus, taxis, autocar) ou de marchandises (chauffeur poids lourds, conducteur de benne à ordures ménagères)	Travailleurs des DIR et plus largement, travailleurs de l'exploitation et de la maintenance des voiries

*DIR : directions interdépartementales des routes.*

### ■ Observations du groupe de travail sur certains métiers non documentés dans le cadre de cette expertise

Certaines activités exposant les travailleurs à la pollution issue du trafic routier et générant par ailleurs une pollution spécifique potentiellement à risque pour la santé des travailleurs n'ont pas été documentées dans le cadre de cette expertise. Il s'agit par exemple des activités de construction routière susceptibles d'exposer les travailleurs aux produits bitumineux et leurs émissions connues pour induire un risque sanitaire (Anses 2013) ainsi que les travaux du BTP ou sur les réseaux (eau, électricité, fibre optique ...) qui pourraient avoir lieu en bordure de trafic routier susceptibles d'exposer à des émissions massives de poussières (Anses 2019d). Les activités exposant les travailleurs dans les parcs de stationnements couverts, déjà considérés dans une précédente expertise (Anses 2010), ne sont pas non plus incluses dans le cadre de la présente expertise.

Cette définition de la population d'étude ne signifie pas que pour les métiers non documentés, l'exposition à la pollution issue du trafic routier n'induit pas une augmentation des risques sanitaires liés aux polluants spécifiques. Des études au cas par cas restent nécessaires, par exemple dans le cas de métiers pour lesquels la répartition du temps passé en extérieur et dans l'habitacle serait très éloignée des circonstances définies dans la présente expertise.

## 5 Évaluation des expositions et caractérisation des risques sanitaires

Ce chapitre présente la démarche mise en œuvre par le groupe de travail pour estimer les expositions des travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulations ou en proximité de trafic routier en vue de caractériser les excès de risque associés à cette exposition professionnelle à la pollution issue du trafic routier et ce, en comparaison d'une population de référence définie comme n'exerçant pas d'activité professionnelle à proximité ou dans le trafic routier.

Dans la présente expertise, l'évaluation des expositions a été faite sur le temps de travail. Ainsi, les excès de risque calculés sont associés à l'exposition professionnelle à la pollution issue du trafic routier, en comparaison d'une population de référence non exposée professionnellement. Cette dernière est tout de même exposée à une pollution de fond durant son temps de travail. En d'autres termes, l'exposition environnementale à la pollution atmosphérique en dehors des heures de travail n'est pas prise en compte. Cette exposition environnementale en dehors des heures de travail est supposée la même pour tous dans la démarche appliquée.

### 5.1 Déterminants de l'exposition des travailleurs

Les expositions des travailleurs à la pollution issue du trafic routier sont dépendantes des niveaux de concentrations observés sur le lieu de l'activité, eux-mêmes dépendants des émissions de polluants par le trafic routier sur ce lieu. Les déterminants de l'exposition des travailleurs ont donc été décrits selon leurs impacts séquencés sur : 1) les émissions de polluants par le trafic routier, 2) les concentrations en polluants observées sur ou à proximité du trafic routier et 3) l'exposition des travailleurs à ces polluants. Ainsi, une augmentation des émissions influencera les concentrations à la hausse et donc les expositions, tandis que certains déterminants agiront sur les concentrations ou les expositions sans influencer les émissions.

Une telle description fournit une compréhension plus complète des situations d'exposition pouvant affecter les travailleurs. En particulier, elle peut aider à la mise en place de mesures préventives grâce à l'analyse des facteurs susceptibles de majorer l'exposition.

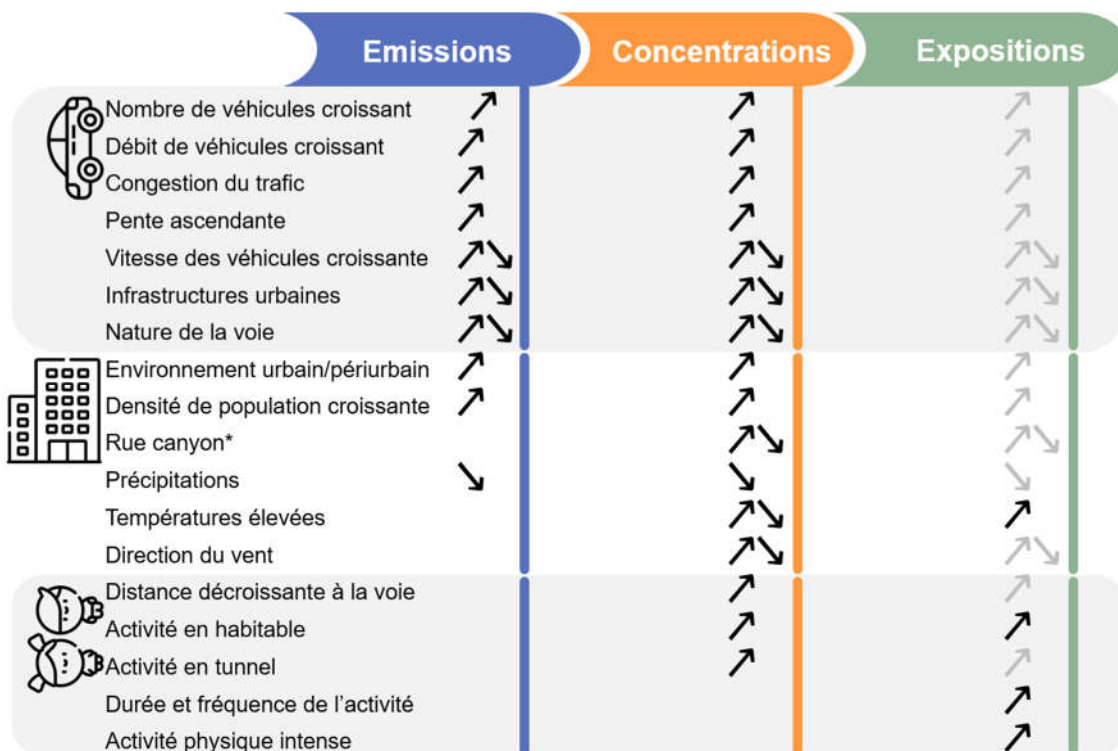
La première catégorie de déterminant considérée concerne les caractéristiques du trafic routier à proximité du travailleur réalisant une activité en bordure de voie. Un nombre de véhicules roulants (qui sont les sources principales émettrices) plus important augmente mécaniquement les émissions de polluants. Un trafic congestionné impacte également les émissions à la hausse ce qui provoquera des niveaux de concentrations et d'exposition plus élevés. Les périodes d'activité influencent donc l'exposition des travailleurs par le biais du nombre de véhicules et de la congestion (typiquement, heures de pointe et heures creuses). Les types d'aménagements urbains (stop, rond-point, ralentisseurs ou feu de circulation) ont des impacts différenciés sur les émissions des véhicules et sur les concentrations à proximité des voies. De même, la nature de la voie peut influencer les émissions et les concentrations à la hausse ou à la baisse selon les niveaux de congestion et de débit des véhicules.

La deuxième catégorie de déterminants considérée concerne plus largement l'environnement autour de la voie de circulation dans lequel le travailleur réalise son activité. Un environnement

urbain ou périurbain (i.e. bâtie en continu ou majoritairement bâtie) est généralement associé à des émissions et concentrations plus importantes qu'un environnement rural, en lien avec le nombre de véhicules circulants et la congestion notamment – déjà décrits dans la catégorie précédente. La topographie du lieu d'activité et la météorologie jouent également un rôle dans les niveaux de concentrations mais de manière différenciée, du fait de leurs impacts sur la dispersion des polluants. Le travail dans des espaces confinés, tels que les tunnels, est associé à des niveaux de concentrations bien supérieurs à ceux observés en espace découvert.

La dernière catégorie de déterminants considérée concerne l'activité réalisée par le travailleur. La distance à la route et au trafic routier est un des déterminants principaux de l'exposition, en lien avec les catégories précédentes. Une activité réalisée sur la voie, tant en extérieur qu'en habitacle, sera associée à des niveaux de concentrations supérieurs à ceux observés au bord direct de la voie. De manière générale, les expositions sont attendues plus fortes dans les habitacles en comparaison avec l'extérieur. La durée et la fréquence de l'activité impacteront les expositions à la hausse de manière mécanique. Il en va de même pour la réalisation d'une activité émettrice de pollution ainsi que la réalisation d'une activité nécessitant un effort physique (par le biais de l'augmentation du taux de ventilation).

La Figure 6 présente des exemples de déterminants ainsi que la direction de leurs impacts. L'Annexe 6 les décrits en détails en incluant les sources documentaires.



↗ témoigne d'une augmentation. ↘ témoigne d'une diminution. ↗↘ traduit un impact variable selon d'autres facteurs, tel que le polluant ou la localisation. Les flèches noires témoignent d'un impact documenté dans la littérature. Les flèches grises représentent l'impact attendu des déterminants sur l'exposition des personnes à proximité du trafic routier. L'absence de flèche représente l'absence d'impact de ce déterminant. \*Rue étroite bordée en continu par de grands bâtiments. Le détail des déterminants par catégorie et leurs sources documentaires sont visibles en Annexe 6.

**Figure 6. Direction des impacts de certains déterminants sur les niveaux d'émissions, de concentrations et d'expositions**

## 5.2 Méthode d'évaluation des expositions et caractérisation des risques

### 5.2.1 Recueil des données de concentrations pour estimer les expositions

#### 5.2.1.1 Données de concentration en air ambiant

##### ■ Collecte

Les données de concentrations dans l'air ambiant ont été recueillies par consultation auprès d'acteurs pertinents en France.

Geod'air (GEstion des données d'Observation De la qualité de l'Air) est la base de données de référence sur la qualité de l'air en France. Gérée et mise en œuvre par l'Ineris au titre du Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA), selon les dispositions de l'arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant, l'application Geod'air :

- centralise les données de mesure des polluants réglementés et des polluants d'intérêt national produites dans chaque région de la métropole et d'outre-mer par les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) ;
- élabore les statistiques horaires, journalières, saisonnières et annuelles sur les niveaux de concentration dans l'air ambiant selon les règles définies au niveau européen.

Des extractions de la base de données Geod'air ont été réalisées par le LCSQA pour les besoins de la présente expertise. Toutes les données mesurées en France pour les 24 polluants retenus aux étapes précédentes (Chapitre 3) ont été recherchées en priorisant les années les plus récentes (2017 à 2022). En cas d'absence de données sur la période récente, les années de 2013 à 2016 ont été considérées. Des concentrations moyennes horaires, journalières ou annuelles ont été transmises, le type de données étant variable selon les polluants.

L'Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE) est une unité mixte de recherche multitutelles faisant partie de l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble. L'IGE étudie les climats, le fonctionnement de la planète et de ses évolutions en termes de pollutions, de changements globaux et de risques pour les sociétés. L'IGE réalise des mesures de la qualité de l'air sur différents sites en France en s'intéressant particulièrement à la composition physico-chimique des particules. Une extraction de ces données mesurées a été réalisée par l'IGE pour les besoins de la présente expertise. La période considérée s'étend de 2007 à 2023. Des concentrations moyennes horaires, hebdomadaires et journalières ont été transmises.

Le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE) est une unité mixte de recherche dont les travaux s'organisent autour de trois thèmes scientifiques : i) Archives et Traceurs, ii) Cycles Biogéochimiques et Transferts dans l'Environnement et iii) Climat et Cycles, Modélisation de leurs variabilités et de leurs interactions. En particulier, l'équipe de Chimie Atmosphérique Expérimentale est spécialisée dans la mesure des niveaux des composés chimiques réactifs présents dans la basse atmosphère sous forme gazeuse ou particulaire. Une extraction des données mesurées par cette équipe a été réalisée.

Les données mesurées dans le cadre des projets PM-DRIVE et Mocopo ont été transmises par Aurélie Charron, coordinatrice du projet PM-DRIVE et partenaire au projet Mocopo coordonné par le Laboratoire d'Ingénierie Circulation Transports. La campagne de mesure a

été réalisée en septembre 2011 dans la région de Grenoble. Des concentrations moyennes horaires ont été transmises.

#### ■ **Traitement**

L'ensemble des données de concentrations mises à disposition a fait l'objet d'un traitement préliminaire afin de rechercher, et corriger si possible, les données invalides. Les concentrations issues de stations pour lesquelles la typologie du site (urbaine, péri-urbaine ou rurale) était non connue ou non récupérable ont été exclues de la base de données. Les concentrations issues de stations sous influence industrielle ou d'influence inconnue (et non récupérable) ont été exclues. Enfin, seuls les polluants mesurés à la fois à proximité du trafic et en situation de fond ont été conservés.

Des données de concentrations étaient finalement disponibles pour les 24 polluants, sur un total de 539 stations de mesure dont 149 en proximité du trafic routier (définie comme une distance < 10 mètres à la voie) (Annexe 7). La majorité des stations de mesure (89 %) se situe en zone urbaine ou péri-urbaine. Trente-huit stations (7 %) dont 14 sous influence trafic se situent dans les territoires ultramarins. Les périodes de temps considérées s'étendent de 2007 à 2023.

#### 5.2.1.2 Données de concentration dans l'habitacle des véhicules

Au contraire des données de qualité de l'air ambiant, les données de concentrations mesurées dans l'habitacle des véhicules ne sont pas centralisées ni harmonisées. Ces données étant trop ponctuelles et diverses, le GT n'a pas procédé à une recherche *in extenso* des sources de données mais a privilégié le recours à un corpus d'études réalisées en France, comparant les concentrations mesurées dans les habitacles de véhicules routiers aux concentrations mesurées en proximité immédiate du trafic routier (Ravelomanantsoa *et al.* 2021). A partir de l'examen de ce corpus d'études, des ratios moyens de la concentration mesurée dans les habitacles sur la concentration mesurée en proximité immédiate du trafic routier ont été calculés (Tableau 14). Ces ratios ont ensuite été appliqués comme facteur de conversion aux concentrations sous influence trafic recueillies précédemment pour les transformer en concentrations « équivalentes habitacles ».

Les facteurs de conversion des concentrations sont basés sur une seule campagne de mesures ce qui peut en limiter leur généralisation. Néanmoins, les résultats exploités pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2,5</sub> (1,8 et 3,6, respectivement) sont relativement proches des ratios obtenus à partir d'une autre étude (1,4 et 3,5) (Ineris 2017). Dans le cas particulier des HAP, la source documentaire examine spécifiquement le benzo[a]pyrène et aucune autre référence n'a été identifiée ; la confiance portée dans ce facteur extrapolé pour les HAP est donc particulièrement limitée.

**Tableau 14. Facteurs comparant les concentrations en habitacles aux concentrations ambiantes extérieurs identifiés au sein de Ravelomanantsoa *et al.* (2021)**

Polluant	Facteur « concentration habitacle / concentration en proximité trafic »	Commentaire
Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )	1,2	Les corrélations entre concentration mesurée en habitacle et concentration mesurée sur stations trafic étaient variables (R <sup>2</sup> compris entre 0,2 et 0,6).
PM <sub>2,5</sub>	3,6	Les corrélations entre concentration mesurée en habitacle et concentration mesurée sur stations trafic étaient fortes (R <sup>2</sup> compris entre 0,7 et 0,8).
PM <sub>10</sub>	1,8	Les corrélations entre concentration mesurée en habitacle et concentration mesurée sur stations trafic étaient variables (R <sup>2</sup> compris entre 0,0 et 0,9).
Carbone suie (et carbone élémentaire par extrapolation)	3,6	En l'absence de mesure pour le carbone suie, le facteur a été repris de celui des PM <sub>2,5</sub> car le carbone suie est largement concentré dans cette fraction.
Métaux dans les PM <sub>10</sub>	1,8	En l'absence de mesure pour le carbone suie, le facteur a été repris de celui des PM <sub>10</sub> .
Benzène	2,2	Les concentrations mesurées en proximité immédiate du trafic routier portaient, à défaut de stations fixes, sur des mesures sur des piétons en bordure de voie routière. Le choix d'utiliser des concentrations moyennes de gaz mesurées sur stations ou sur piétons n'affecte pas sensiblement la valeur du ratio des concentrations (de 1,2 à 1,4 pour le NO <sub>2</sub> par ex).
Ethylbenzène	1,9	
Anthracène, benzo[a]anthracène, fluoranthène, phénanthrène, pyrène	2,0	En l'absence de mesure pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques sélectionnés dans la présente expertise, le ratio du benzo[a]pyrène a été repris.

La campagne de prélèvements réalisés par Ravelomanantsoa *et al.* (2021) considérait des trajets de type domicile-travail en région parisienne, en jours ouvrés hors vacances scolaires, aux heures de pointes et pendant les saisons hivernales en 2018 et 2019. Les trajets ont été répartis uniformément dans le temps pour disposer d'une meilleure représentativité des résultats et limiter par exemple l'impact d'un pic de pollution. Seuls des habitacles de véhicules particuliers<sup>22</sup> étaient inclus avec les conditions de mesures suivantes : une personne dans la voiture, absence de fumée de tabac ou émission de vapotage, chauffage modéré et basse vitesse d'insufflation d'air neuf. Les données de concentration sur stations fixes en proximité trafic ont été mesurées en bordure du Boulevard périphérique. Les données de concentration sur piéton sont issues de mesures portatives sur des trajets de 2 heures, réalisés pour les besoins de l'étude, sur le trottoir longeant la voie dédiée aux voitures.

Le groupe de travail souhaite souligner que les conditions d'obtention des concentrations ne sont pas attendues comme maximisant le ratio entre concentration dans l'habitacle et concentration en bordure de trafic, mais doivent être considérées comme des conditions moyennes.

Les facteurs de conversion sont spécifiques aux polluants, mais non spécifiques des durées de prélèvements. Le même facteur a ainsi été appliqué aux concentrations horaires, journalières et annuelles mesurées à proximité du trafic routier. Les concentrations « équivalentes habitacles » sont donc proportionnelles à celles mesurées en air ambiant.

<sup>22</sup> Citroën Nemo Essence Euro 5, Renault Kangoo Diesel Euro 5 et Renault Kangoo électrique.



## 5.2.2 Scénarios retenus pour estimer les expositions

Chaque scénario illustre des situations d'exposition auxquelles les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier (i.e. ayant des activités sur les voies de circulation ou en proximité de trafic) et la population de référence peuvent être confrontés pendant leur temps de travail.

### 5.2.2.1 Concentrations d'exposition

Les concentrations mesurées en air ambiant à proximité du trafic routier ont été utilisées pour estimer les expositions des travailleurs exposés professionnellement au sein des trois circonstances d'exposition professionnelle définies précédemment. Les concentrations mesurées en dehors de toute influence de sources proches (ni trafic ni industrielle, issues de stations en situations de fond) ont été utilisées pour estimer les expositions de la population de référence.

Pour la population des travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier, deux scénarios de niveaux de concentrations, représentant des expositions modérées et fortes, pour les expositions à court terme d'une part et à long terme d'autre part, ont été considérés pour chacune des trois circonstances d'exposition professionnelle.

Pour estimer les expositions à court terme :

- le scénario « modéré » considère la médiane (= p50) des concentrations moyennes journalières ;
- le scénario « fort » considère le 95<sup>ème</sup> centile (= p95) des concentrations moyennes journalières.

Pour estimer les expositions à long terme :

- le scénario « modéré » considère la médiane (= p50) des concentrations moyennes annuelles ;
- le scénario « fort » considère le 95<sup>ème</sup> centile (= p95) des concentrations moyennes annuelles.

Pour la population de référence, seul le scénario « modéré » a été retenu tant pour le court terme que pour le long terme, reposant sur la médiane (= p50) des concentrations moyennes journalières et annuelles, respectivement. Ce scénario unique facilite l'exercice de caractérisation des excès de risques par la suite en limitant le nombre de comparaison à la population des travailleurs exposés professionnellement (i.e. ayant des activités sur les voies de circulation ou en proximité de trafic).

Dans le cas de données de concentrations horaires, le créneau horaire de 7 à 19 heures et journées traditionnellement travaillés du lundi au vendredi ont été utilisées pour recalculer des concentrations moyennes journalières et annuelles par station, afin de correspondre au mieux aux expositions pendant les heures de travail. Pour assurer la représentativité des valeurs ainsi obtenues, ces concentrations recalculées n'ont été utilisées que si les données permettaient une couverture temporelle suffisante (> 75 % de la journée ou de l'année) et assuraient une couverture spatiale similaire (> 75 % des stations). Pour les polluants concernés, l'utilisation de ces concentrations recalculées a été privilégiée pour l'estimation des expositions. Pour les autres polluants, les concentrations moyennes journalières et annuelles à partir des concentrations horaires de minuit à minuit par défaut ont été utilisées.

Les concentrations moyennes journalières et annuelles ont été choisies en cohérence avec les pas de temps sur lesquels sont définies les valeurs sanitaires de référence, aiguës (court terme) et chroniques (long terme), retenues pour caractériser les risques. Les moyennes horaires n'ont pas directement été exploitées mais sont décrites en Annexe 7.

### 5.2.2.2 Durées d'exposition

L'estimation des durées d'exposition repose sur l'analyse des données relatives au temps de travail collectées au sein de la population d'étude. Il s'agit d'une part, de la fréquence de temps de travail passé sur les voies de circulation ou en proximité de trafic et d'autre part, de la durée totale du temps travail.

- Proportion du temps de travail passé à proximité ou dans le trafic

La fréquence du temps de travail passé sur les voies de circulation ou en proximité de trafic retenue pour les calculs d'estimation des expositions est décrite dans le Tableau 15 pour les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier et pour la population de référence non exposée professionnellement. Ces hypothèses ont été retenues pour faciliter l'interprétation des résultats de la caractérisation des risques tout en restant cohérentes avec les éléments collectés lors des consultations et auditions.

**Tableau 15. Hypothèse retenue pour les temps de travail passés sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier dans les circonstances d'exposition**

	Circonstances d'exposition pour les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier (i.e. ayant des activités sur les voies de circulation (en extérieur ou en habitacle) ou en proximité de trafic)			Circonstance d'exposition pour la population de référence*
	« extérieur »	« mixte »	« habitacle »	
<b>Définition de la circonstance d'exposition (paragraphe 4.4)</b>	> 75 % du temps de travail passé en extérieur sur les voie de circulation ou à proximité du trafic routier	Temps de travail réparti de 25 % à 75 % entre circonstance « extérieur » et circonstance « habitacle »	> 75 % du temps de travail passé dans l'habitacle d'un véhicule sur les voies de circulation	0 % à 25 % du temps de travail passé sur les voie de circulation (en extérieur ou en habitacle) ou à proximité du trafic routier**
<b>Hypothèse retenue pour l'estimation des expositions</b>	100 % du temps de travail passé en extérieur sur les voie de circulation ou à proximité du trafic routier	50 % du temps de travail passé dans la circonstance « extérieur » et 50 % du temps de travail passé dans la circonstance « habitacle »	100 % du temps de travail passé dans l'habitacle d'un véhicule sur les voies de circulation	0 % du temps de travail passé sur les voie de circulation (en extérieur ou en habitacle) ou à proximité du trafic routier**

\* Non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier i.e. n'exerçant pas d'activité professionnelle sur les voies de circulation ou en proximité de trafic. \*\*Fraction de temps proposée par mise en cohérence avec les fractions de temps des circonstances d'exposition pour les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier.

- Durée totale du temps de travail

En plus de la fréquence de temps passé, la durée totale du temps de travail à exercer des activités au sein de chaque circonstance d'exposition a été prise en compte. Il s'agit d'un nombre d'heures par jour, de jours par semaine et de semaines par an et d'un nombre d'années dans l'emploi pour l'estimation des expositions à long terme sur l'ensemble de la vie professionnelle (Pour l'ensemble des circonstances et des populations, un scénario standard a été élaboré considérant une organisation standard du temps de travail (7 heures par jour, 5 jours par semaine, 45,6 semaines par an, pour une durée de 40 ans dans l'emploi) et en

cohérence avec les informations collectées lors des consultations et auditions (Chapitre 4). Ce scénario standard est généralisable à une grande partie des activités documentées au sein de la population d'étude.

Tableau 16).

Pour l'ensemble des circonstances et des populations, un scénario standard a été élaboré considérant une organisation standard du temps de travail (7 heures par jour, 5 jours par semaine, 45,6 semaines par an, pour une durée de 40 ans dans l'emploi) et en cohérence avec les informations collectées lors des consultations et auditions (Chapitre 4). Ce scénario standard est généralisable à une grande partie des activités documentées au sein de la population d'étude.

**Tableau 16. Hypothèses retenues pour les estimations de l'exposition à long terme sur l'ensemble de la vie professionnelle**

	Circonstances d'exposition pour les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier (i.e. réalisant des activités professionnelles à proximité du ou dans le trafic routier)					Circonstance d'exposition pour la population de référence*
	« extérieur » (éboueurs, livreurs à vélo...)		« mixte » (personnel d'exploitation des DIR...)	« habitacle » (chauffeur de bus, conducteurs de taxi...)		
	Scénario standard	Scénario atypique	Scénario standard	Scénario standard	Scénario atypique	Scénario standard
Nombre heures / jour	7	9	7	7	11	7
Nombre jours / semaine	5	6	5	5	6	5
Nombre semaines / an	45,6	47	45,6	45,6	49	45,6
Nombre années dans l'emploi	40	10 (max)	40	40	24 (max)	40

DIR : directions interdépartementales des routes.

En complément, des profils d'activités atypiques en termes de taux et amplitudes horaires ont été définis au sein des circonstances « extérieur » et « habitacle » à partir de métiers identifiés dans la présente expertise : les travailleurs de plateforme et les conducteurs de taxis. Chacune de ces activités fait l'objet de scénarios atypiques sur le long terme, considérant des paramètres temporels spécifiques.

### 5.2.3 Valeurs de référence retenues pour les calculs de risque

La sélection des valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour la réalisation de la caractérisation des risques s'est appuyée sur le guide Anses d'élaboration des valeurs sanitaires de référence :

- i. Seules les VTR construites pour une exposition par inhalation pour des durées d'exposition à court terme (aiguë) ou à long terme (chronique) ont été retenues.
- ii. Seules les VTR pour lesquelles la durée d'exposition correspondait à des données de concentrations disponibles ont été considérées.
- iii. Dans le cas des métaux, seules les VTR construites pour les formes particulières ont été considérées en adéquation avec les données de concentrations recueillies.

- iv. Lorsque plusieurs VTR répondaient aux critères précédents, les VTR construites ou recommandées par l'Anses, puis les VTR recommandées par l'Ineris, ont été privilégiées.

Les VTR retenues sont présentées en Annexe 8 ainsi que les valeurs adaptées pour les calculs de risque (paragraphes 5.2.4.2 et 5.2.4.3). Un aperçu plus large des VTR recensées est disponible en Annexe 2. En l'absence de VTR, les valeurs guides de l'OMS ont été considérées.

## 5.2.4 Estimation des expositions et calcul des risques sanitaires

### 5.2.4.1 Généralités

L'exposition est dépendante du niveau de concentration en polluant dans l'air et de la durée d'exposition de l'individu. Ainsi, l'évaluation des expositions professionnelles à la pollution issue du trafic routier repose sur la combinaison des :

- i) données existantes sur la qualité de l'air ambiant (paragraphe 5.2.1). Les concentrations mesurées en air ambiant à proximité du trafic routier (issues de stations en situation trafic) ont été utilisées pour estimer les expositions des travailleurs réalisant tout ou partie de leurs activités professionnelles sur ou à proximité du trafic routier. Les concentrations mesurées en dehors de toute influence de sources proches (ni trafic ni industrielle, issues de stations en situations de fond) ont été utilisées pour estimer les expositions de la population de référence, non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier.
- ii) et données descriptives des temps de travail, permettant de définir des scénarios d'exposition pour les populations de travailleurs et de référence (paragraphe 5.2.2).

Une fois les expositions estimées, ces dernières sont combinées avec les valeurs sanitaires de référence (VTR) retenues (paragraphe 5.2.3) pour caractériser les risques. La méthode de calcul des risques ainsi que l'expression des résultats dépendent de la nature du mécanisme de l'effet sanitaire considéré par la VTR – à seuil de dose ou sans seuil de dose – et sont détaillés ci-dessous.

### 5.2.4.2 Polluants avec des effets sanitaires à seuil

#### Adaptation des VTR à seuil

Avant leur utilisation dans les calculs de risques, les VTR à seuil ont été transformées pour s'adapter aux scénarios d'exposition choisis. Une telle transformation permet d'assurer l'adéquation entre les paramètres d'application de la VTR (fréquence et durée d'application) aux scénarios d'exposition déterminés sur le temps de travail et la vie professionnelle et donc, aux niveaux d'exposition correspondants. Un tel exercice a déjà été réalisé dans une expertise examinant les risques sanitaires chez les travailleurs des enceintes de transports ferroviaires souterrains (Anses 2015). Cette transformation des VTR à seuil comprend deux étapes.

Tout d'abord, les facteurs d'incertitudes sur la variabilité interindividuelle éventuellement appliqués pour construire la VTR à seuil ont été réduits pour correspondre à la valeur traditionnellement retenue en population professionnelle. En bref, ce facteur tient compte de la variabilité potentielle de l'effet critique au sein de la population humaine en lien avec la constitution génétique, l'âge, le sexe, le mode de vie ou l'état de santé par exemple. En population professionnelle, la valeur de ce facteur est abaissée considérant qu'une population de travailleurs est plus homogène et moins fragile que la population générale dans son

ensemble (ni enfants, ni personnes âgées). Le guide d'évaluation de risque dans le cadre des réglementations REACh<sup>23</sup> donne des indications similaires quant à ce facteur d'incertitude pour les substances ayant un effet irritant ou corrosif (ECHA 2012).

Ensuite, les ajustements temporels éventuellement appliqués pour construire la VTR à seuil, afin qu'elle soit applicable à une exposition continue, ont été modifiés ou supprimés pour correspondre à un scénario d'exposition sur le temps de travail.

Ainsi, les transformations retenues pour adapter les VTR à seuil, nommées  $VTR_{adaptées}$  dans la suite et présentées en Annexe 8, incluent :

- la réduction du facteur d'incertitude interindividuelle utilisé dans la construction de la VTR, de 10 à 5 ou de 3 à 1, sauf si des données sont disponibles pour le justifier. Dans le cas d'une VTR dérivée pour un effet critique irritant ou corrosif, le facteur d'incertitude est égal à 1 et a été supprimé sauf si des données sont disponibles pour le justifier,
- la suppression des ajustements temporels utilisés dans la construction de la VTR pour revenir à une période d'application proche de celle d'un scénario travailleurs (8 heures par jour et 5 jours sur 7).

### Évaluation des expositions

Les niveaux d'exposition des travailleurs et de la population de référence aux polluants présentant des effets sanitaires à seuil ont été estimés selon les formules présentées dans le Tableau 17. Pour les effets à seuil sur le long terme, les scénarios standard et atypique tels que définis au paragraphe 5.2.2 ne font pas l'objet d'estimations distinctes en raison de la définition des VTR long terme à seuil qui n'est pas conditionnée par le nombre d'années exposées.

**Tableau 17. Méthode d'estimations quantitatives des niveaux d'exposition pour les populations de travailleurs et de référence dans le cas des polluants disposant de VTR à seuil de dose**

Circonstances d'exposition pour les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier (i.e. réalisant des activités professionnelles sur les voies de circulation, en extérieur ou en habitacle, ou en proximité de trafic routier)				Circonstance d'exposition pour la population de référence*
	« extérieur » (par ex : éboueurs, livreurs à vélo...)	« mixte » (par ex : personnel d'exploitation des DIR...)	« habitacle » (par ex : chauffeur de bus, conducteurs de taxi...)	
<b>Estimation de l'exposition à court terme (journée)</b>				
Exposition modérée	$P50 C_{trafic}^{journalière}$	$P50 C_{trafic}^{journalière} + P50 C_{ég.habitacle}^{journalière} / 2$	$P50 C_{ég.habitacle}^{journalière}$	$P50 C_{fond}^{journalière}$
Exposition élevée	$P95 C_{trafic}^{journalière}$	$P95 C_{trafic}^{journalière} + P95 C_{ég.habitacle}^{journalière} / 2$	$P95 C_{ég.habitacle}^{journalière}$	
<b>Estimation de l'exposition à long terme (années)</b>				
Exposition modérée	$P50 C_{trafic}^{annuelle}$	$P50 C_{trafic}^{annuelle} + P50 C_{ég.habitacle}^{annuelle} / 2$	$P50 C_{ég.habitacle}^{annuelle}$	$P50 C_{fond}^{annuelle}$
Exposition élevée	$P95 C_{trafic}^{annuelle}$	$P95 C_{trafic}^{annuelle} + P95 C_{ég.habitacle}^{annuelle} / 2$	$P95 C_{ég.habitacle}^{annuelle}$	

<sup>23</sup> Registration Evaluation Authorisation and Restriction of Chemical substances.

C : concentration ; éq. habitacle : équivalente habitacle ; p50 : 50<sup>ème</sup> centile (= médiane) ; p95 : 95<sup>ème</sup> centile.  
 \* Population n'exerçant pas d'activité professionnelle sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier.

### Calcul de risques

Pour chaque population, circonstance d'exposition et scénario, le risque s'exprime sous la forme d'un quotient de danger (QD) tel que :

$$QD = \frac{Exposition_x}{VTR_{adaptée}}$$

Où  $Exposition_x$  représente les niveaux d'exposition estimés pour le polluant  $x$  et  $VTR_{adaptée}$  représente la valeur sanitaire de référence retenue pour le polluant  $x$  et adaptée aux scénarios d'expositions pendant le temps de travail.

Si  $QD > 1$  alors  $Exposition_x > VTR_{adaptée}$ , ce qui traduit une situation d'exposition considérée préoccupante pour la population, la circonstance d'exposition et le scénario considérés. Les risques sanitaires ne peuvent pas être écartés pour cette population dans la circonstance d'exposition suivant le scénario en question.

Si  $QD < 1$  alors  $Exposition_x < VTR_{adaptée}$ , ce qui traduit une situation d'exposition non préoccupante pour la population, la circonstance d'exposition et le scénario considérés. Les risques sanitaires peuvent être écartés pour cette population dans la circonstance d'exposition suivant le scénario en question.

Pour chaque polluant et durée d'exposition (court terme ou long terme), les  $QD$  obtenus pour la population des travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulations ou à proximité du trafic routier ont été comparés au  $QD$  calculé pour la population de référence. Un excès de risque est mis en évidence pour les travailleurs si et seulement si  $QD_{travailleurs} > 1$  et  $QD_{référence} < 1$ . Des  $QD$  supérieurs à 1 dans les deux populations traduisent des situations d'exposition préoccupantes pour tous et ne peuvent être traduits en excès de risque pour les travailleurs.

L'interprétation du QD doit se faire à l'aune des incertitudes associées aux différentes étapes de la démarche d'évaluation des risques, notamment lorsque la valeur du QD est proche de 1.

#### 5.2.4.3 Polluants avec des effets sanitaires sans seuil

##### Adaptation des VTR sans seuil

Les VTR sans seuil ont été transformées pour s'adapter aux scénarios d'exposition choisis. Une telle transformation permet d'assurer l'adéquation entre les paramètres d'application de la VTR (fréquence et durée d'application) aux scénarios d'exposition déterminés sur le temps de travail et la vie professionnelle et donc, aux niveaux d'exposition correspondants.

Pour les VTR sans seuil, une pondération temporelle est appliquée à la VTR pour que sa durée d'application corresponde au temps de travail et à la vie professionnelle, en lieu d'une exposition continue sur la vie entière. Ainsi, les transformations retenues pour adapter les VTR sans seuil, nommées  $VTR_{adaptées}$  dans la suite, sont les facteurs de pondération suivants :

- Sur le court terme :  $\frac{\text{heures/jour}}{24} \times \frac{\text{jours/semaine}}{7} \times \frac{\text{semaines/an}}{52}$ ,
- Sur le long terme :  $\frac{\text{heures/jour}}{24} \times \frac{\text{jours/semaine}}{7} \times \frac{\text{semaines/an}}{52} \times \frac{\text{années emploi}}{84}$

Où les nombres d'heures par jour, de jours par semaine, de semaines par an et d'années dans l'emploi sont décrits dans le Tableau 16 pour les scénarios standard et atypique au sein des circonstances d'exposition pour la population de travailleurs et la population de référence.

Pour le long terme, une durée de vie de 84 ans est considérée ici, alors que la valeur de 70 ans est l'hypothèse traditionnelle de la démarche d'évaluation quantitative des risques (Ineris 2021; Dor *et al.* 2007). D'autres sources ont recommandé 75 ans par défaut (ECHA 2012; BAuA 2008; Santé Canada 2004). Le groupe de travail a retenu la valeur de 84 ans dans les présents travaux en considérant l'espérance de vie en France (85,2 ans pour les femmes et de 79,3 ans pour les hommes en 2022 selon l'INSEE<sup>24</sup>). De plus, les VTR long terme sans seuil pour les PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub> et le carbone suie ont été établies sur 84 ans et la méthode de construction de la VTR long terme sans seuil pour les HAP n'était pas conditionnée par un nombre d'année de vie chez l'Homme.

### Évaluation des expositions

Les niveaux d'exposition des travailleurs et de la population de référence aux polluants présentant des effets sanitaires sans seuil ont été estimés selon les formules présentées dans le Tableau 18.

Afin de permettre les comparaisons entre circonstances, l'estimation de l'exposition à long terme sur l'ensemble de la vie professionnelle considère par défaut 40 ans de vie professionnelle. Ainsi, au sein des scénarios atypiques, l'estimation de l'exposition à long terme considère le nombre d'année dans l'emploi (Tableau 16) comme exposé professionnellement à la pollution issue du trafic (i.e. exploitant les concentrations moyennes annuelles sur ou à proximité du trafic) complété par des années de travail non exposées professionnellement (i.e. exploitant les concentrations moyennes annuelles en situation de fond).

---

<sup>24</sup> Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques



Tableau 18. Méthode d'estimation quantitative des niveaux d'exposition pour les populations de travailleurs et de référence dans le cas des polluants disposant de VTR sans seuil de dose

Circonstances d'exposition pour les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier (i.e. réalisant des activités professionnelles sur les voies de circulation, en extérieur ou en habitacle, ou en proximité de trafic routier)		Circonstance d'exposition pour la population de référence*				
	« extérieur » (par ex : éboueurs, livreurs à vélo...)	« mixte » (par ex : personnel d'exploitation des DIR...)	« habitacle » (par ex : chauffeur de bus, conducteurs de taxi...)			
<b>Estimation de l'exposition à court terme (journées)</b>						
Exposition modérée	$P50 C_{trafic}^{journalière}$	$P50 C_{trafic}^{journalière} + P50 C_{\text{éq.habitacle}}^{journalière} / 2$	$P50 C_{\text{éq.habitacle}}^{journalière}$	$P50 C_{fond}^{journalière}$		
Exposition élevée	$P95 C_{trafic}^{journalière}$	$P95 C_{trafic}^{journalière} + P95 C_{\text{éq.habitacle}}^{journalière} / 2$	$P95 C_{\text{éq.habitacle}}^{journalière}$			
<b>Estimation de l'exposition à long terme (années)</b>						
	Scénario moyen	Scénario atypique*	Scénario moyen	Scénario moyen	Scénario atypique*	Scénario moyen
Exposition modérée	$P50 C_{trafic}^{annuelle}$	$P50 C_{trafic}^{annuelle} \times \frac{10}{40} + P50 C_{fond}^{annuelle} \times \frac{30}{40}$	$P50 C_{trafic}^{annuelle} + P50 C_{\text{éq.habitacle}}^{annuelle} / 2$	$P50 C_{\text{éq.habitacle}}^{annuelle}$	$P50 C_{\text{éq.habitacle}}^{annuelle} \times \frac{24}{40} + P50 C_{fond}^{annuelle} \times \frac{16}{40}$	$P50 C_{fond}^{annuelle}$
Exposition élevée	$P95 C_{trafic}^{annuelle}$	$P95 C_{trafic}^{annuelle} \times \frac{10}{40} + P50 C_{fond}^{annuelle} \times \frac{30}{40}$	$P95 C_{trafic}^{annuelle} + P95 C_{\text{éq.habitacle}}^{annuelle} / 2$	$P95 C_{\text{éq.habitacle}}^{annuelle}$	$P95 C_{\text{éq.habitacle}}^{annuelle} \times \frac{24}{40} + P50 C_{fond}^{annuelle} \times \frac{16}{40}$	

C : concentration ; éq. habitacle : équivalente habitacle ; p50 : 50<sup>ème</sup> centile (= médiane) ; p95 : 95<sup>ème</sup> centile. \* Population n'exerçant pas d'activité professionnelle sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier.

### Calcul de risque

Pour chaque population, circonstance d'exposition et scénario, le risque s'exprime sous la forme d'un excès de risque individuel (*ERI*) tel que :

$$ERI = Exposition_x \times VTR_{adaptée}$$

Où  $Exposition_x$  représente les niveaux d'exposition estimés pour le polluant  $x$  et  $VTR_{adaptée}$  représente la valeur sanitaire de référence retenue pour le polluant  $x$  et adaptée aux scénarios d'expositions pendant le temps de travail.

L'*ERI* représente la probabilité supplémentaire qu'a un individu de développer l'effet critique de la valeur sanitaire de référence en lien avec l'exposition au polluant  $x$  sur le temps de travail. Les valeurs repères traditionnelles sont  $10^{-4}$  (1 cas en excès pour une population exposée de 10 000),  $10^{-5}$  (1 cas pour 100 000) ou  $10^{-6}$  (1 cas pour 1 000 000).

Pour chaque polluant et durée d'exposition (court terme ou long terme), les *ERI* obtenus pour la population des travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulations ou à proximité du trafic routier ont été comparés à l'*ERI* calculé pour la population de référence. Si l'*ERI* calculé pour une population de travailleurs exposés dépasse l'*ERI* calculé pour la population de référence (i.e.  $\Delta = ERI_{travailleurs} - ERI_{référence} > 0$ ), un excès de risque pour les travailleurs est mis en évidence. Ce dernier peut se traduire en termes d'impact en considérant que des différences de l'ordre de  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  et  $10^{-6}$  représentent un cas en excès pour 10 000 individus, 100 000 individus et 1 000 000 d'individus exposés professionnellement, respectivement, par rapport au nombre de cas qui serait observé dans la population de référence.

## 5.3 Résultats

Les estimations des expositions et les caractérisations des risques suivant les méthodes décrites précédemment (paragraphe 5.2.4) sont détaillées ci-dessous pour les polluants suivants : ammoniac, dioxyde d'azote, carbone suie,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ , baryum, antimoine, benzène, éthylbenzène, anthracène, fluoranthène, phrénanthène et pyrène.

L'exercice de caractérisation des risques n'a pas été mené pour certains polluants en raison de l'absence de valeurs de référence par inhalation (particules ultrafines, ions nitrates, zinc et fer) ou l'inadéquation de ces valeurs avec les données de concentrations disponibles (benzo[a]anthracène, cuivre, chrome, étain et manganèse). Néanmoins, une comparaison des expositions estimées a été possible entre la population de travailleurs exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier et la population de référence.

Enfin, il n'a pas été possible d'estimer les expositions des travailleurs au naphthalène car aucune donnée de concentration à proximité du trafic n'a été collectée. Concernant le formaldéhyde, seules des concentrations horaires issue d'une campagne unique et ancienne (2011) ont été collectées ce qui n'est plus représentatif de l'exposition en proximité de trafic routier en raison de l'évolution du parc.

## 5.3.1 Composés inorganiques

### 5.3.1.1 Ammoniac

#### ■ Estimation de l'exposition

		Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
		Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Court terme (jour)* ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	N stations (N données)	1 (90)			7 (2 408)
	Exposition modérée	5,8	NC	NC	3,9
	Exposition forte	17,1	NC	NC	-
Long terme (année) ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	N stations (N données)	2 (2)			8 (10)
	Exposition modérée	3,2	NC	NC	4,6
	Exposition forte	3,5	NC	NC	-

\* Les données exploitées pour les calculs ont été restreintes aux jours traditionnellement travaillés (i.e. du lundi au vendredi) dans le but de faire correspondre au mieux l'estimation de l'exposition au temps de travail. NC : non calculable en l'absence de ratio entre concentrations ambiantes et concentrations habitacles ; N : nombre.

Avec les scénarios d'exposition à court terme, les concentrations d'exposition estimées pour les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier sont supérieures à celle de la population de référence, non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier.

A l'inverse, avec les scénarios d'exposition à long terme, les concentrations d'exposition estimées pour les travailleurs sont inférieures à celle de la population de référence. Ces résultats sont vraisemblablement dus aux faibles effectifs de stations et de données, limitant fortement la représentativité spatiale et temporelle des données de concentration, et empêchant donc de conclure fermement sur la sur- ou sous-exposition des travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier.

#### ■ Caractérisation des risques pour des effets à court terme à seuil

	Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
	Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Exposition modérée	QD=3,3.10 <sup>-4</sup>	NC	NC	QD=2,2.10 <sup>-4</sup>
Exposition forte	QD=9,7.10 <sup>-4</sup>	NC	NC	

QD = quotient de danger. NC : non calculable en l'absence de ratio entre concentrations ambiantes et concentrations habitacles.

Avec les réserves précitées liées au faible nombre de stations pour ce polluant, les QD obtenus, largement inférieurs à 1, suggèrent que l'exposition professionnelle à court terme à

l'ammoniac des travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier est non préoccupante pour leur santé.

### ■ Caractérisation des risques pour des effets à long terme à seuil

	Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
	Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Exposition modérée	QD=1,2.10 <sup>-3</sup>	NC	NC	QD=1,7.10 <sup>-3</sup>
Exposition forte	QD=1,3.10 <sup>-3</sup>	NC	NC	

QD = quotient de danger. NC : non calculable en l'absence de ratio entre concentrations ambiantes et concentrations habitacles.

Avec les réserves précitées liées au faible nombre de stations pour estimer les expositions à ce polluant, les QD obtenus sont largement inférieurs à 1 et suggèrent donc que l'exposition professionnelle à long terme à l'ammoniac des travailleurs leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier est non préoccupante pour leur santé.

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

### ■ Estimation des expositions

		Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
		Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Court terme (jour)* (µg.m <sup>-3</sup> )	N stations (N données)	135 (153 769)			330 (402 543)
	Exposition modérée	32,8	36,1	39,3	11,9
	Exposition forte	75,4	83,0	90,5	-
Long terme (année)* (µg.m <sup>-3</sup> )	N stations (N données)	125 (595)			310 (1 557)
	Exposition modérée	35,1	38,6	42,1	14,4
	Exposition forte	64,0	70,4	76,8	-

\* Les données exploitées pour les calculs ont été restreintes aux jours et horaires traditionnellement travaillés (i.e. du lundi au vendredi, de 7h à 19h) dans le but de faire correspondre au mieux l'estimation de l'exposition au temps de travail. N : nombre.

Quel que soit le scénario considéré, les concentrations d'exposition estimées pour les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier sont largement supérieures à celles estimées pour la population de référence, d'un facteur 2 à 8 selon les scénarios.

### ■ Caractérisation des risques pour des effets à court terme à seuil

	Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
	Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Exposition modérée	QD=1,3	QD=1,4	QD=1,6	QD=0,48
Exposition forte	QD=3,0	QD=3,3	QD=3,6	

QD = quotient de danger.

Quel que soit le scénario considéré, les QD obtenus sont supérieurs à 1 et indiquent que l'exposition professionnelle à court terme au NO<sub>2</sub> chez les travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier serait préoccupante pour leur santé. En comparaison, le QD obtenu pour la population de référence indique que la situation d'exposition considérée n'est pas préoccupante pour la santé, des effets sont susceptibles de se produire dans la population de travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier.

### ■ Caractérisation des risques pour des effets à long terme à seuil

	Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
	Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Exposition modérée	QD=3,5	QD=3,9	QD=4,2	QD=1,4
Exposition forte	QD=6,4	QD=7,0	QD=7,7	

QD = quotient de danger.

Quel que soit le scénario considéré, les QD obtenus sont supérieurs à 1 et indiquent que l'exposition professionnelle à long terme au NO<sub>2</sub> chez les travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier serait préoccupante pour leur santé. Le scénario d'exposition de la population de référence amène également un dépassement de la valeur de référence, ce qui traduit une situation d'exposition préoccupante. Le groupe de travail rappelle que les concentrations d'exposition des travailleurs sont toujours estimées supérieures à celles de la population de référence.

### 5.3.1.3 Ions nitrates

#### ■ Estimation des expositions

		Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
		Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Court terme (jour)* (ng.m <sup>-3</sup> )	N stations (N données)	3 (284)			22 (4 371)
	Exposition modérée	2 123,6	NC	NC	1 111,2
	Exposition forte	14 851,7	NC	NC	

\* Les données exploitées pour les calculs ont été restreintes aux jours et horaires traditionnellement travaillés (i.e. du lundi au vendredi de 7h à 19h) dans le but de faire correspondre au mieux l'estimation de l'exposition au temps de travail. NC : non calculable en l'absence de ratio entre concentrations ambiantes et concentrations habitacles ; N : nombre.

Quel que soit le scénario considéré, les concentrations d'exposition estimées pour les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier sont supérieures à celles estimées pour la population de référence non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier.

## 5.3.2 Hydrocarbures

### 5.3.2.1 Anthracène

#### ■ Estimation des expositions

		Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
		Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Court terme (jour)* (µg.m <sup>-3</sup> )	N stations (N données)	1 (158)			5 (772)
	Exposition modérée	0,7	1,1	1,5	0,2
	Exposition forte	1,6	2,4	3,2	-
Long terme (année) (µg.m <sup>-3</sup> )	N stations (N données)	1 (2)			4 (8)
	Exposition modérée	0,9	1,3	1,7	0,3
	Exposition forte	0,9	1,3	1,8	-

\* Les données exploitées pour les calculs ont été restreintes aux jours traditionnellement travaillés (i.e. du lundi au vendredi) dans le but de faire correspondre au mieux l'estimation de l'exposition au temps de travail. N : nombre.

Les concentrations d'exposition estimées à l'anthracène pour les travailleurs exposés professionnellement à pollution issue du trafic routier sont supérieures à celles estimées pour la population de référence. Néanmoins, ces estimations portent sur des faibles effectifs de stations, limitant fortement leur représentativité spatiale et temporelle, ainsi que la

comparabilité des concentrations estimées pour les travailleurs et pour la population de référence.

### ■ Caractérisation des risques pour des effets à long terme sans seuil

	Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier					Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
	Circonstance « extérieur »		Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »		
	Scénario standard	Scénario atypique	Scénario standard	Scénario standard	Scénario atypique	
Exposition modérée	ERI=4,4.10 <sup>-10</sup> (Δ=2,9.10 <sup>-10</sup> )	ERI=2,9.10 <sup>-10</sup> (Δ=1,4.10 <sup>-10</sup> )	ERI=6,7.10 <sup>-10</sup> (Δ=5,1.10 <sup>-10</sup> )	ERI=8,9.10 <sup>-10</sup> (Δ=7,3.10 <sup>-10</sup> )	ERI=11.10 <sup>-10</sup> (Δ=9,9.10 <sup>-10</sup> )	ERI=1,5.10 <sup>-10</sup>
Exposition forte	ERI=4,6.10 <sup>-10</sup> (Δ=3,1.10 <sup>-10</sup> )	ERI=3,0.10 <sup>-10</sup> (Δ=1,5.10 <sup>-10</sup> )	ERI=6,9.10 <sup>-10</sup> (Δ=5,4.10 <sup>-10</sup> )	ERI=9,2.10 <sup>-10</sup> (Δ=7,7.10 <sup>-10</sup> )	ERI=12.10 <sup>-10</sup> (Δ=10.10 <sup>-10</sup> )	

Δ : excès de risque individuel travailleurs – excès de risque individuel population de référence ; ERI : excès de risque individuel.

Avec les réserves précitées liées aux faibles nombres de stations, les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier présentent un excès de risque de cancer pulmonaire attribuable à la surexposition à l'antracène par rapport à la population de référence non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier.

#### 5.3.2.2 Benzène

### ■ Estimation de l'exposition

		Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
		Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Court terme (jour) (μg.m <sup>-3</sup> )	<i>N stations (N données)</i>	47 (6 513)			32 (3 534)
	Exposition modérée	0,8	1,3	1,8	0,7
	Exposition forte	2,4	3,9	5,3	-
Long terme (année) (μg.m <sup>-3</sup> )	<i>N stations (N données)</i>	48 (164)			33 (109)
	Exposition modérée	1,0	1,6	2,2	1,0
	Exposition forte	2,0	3,2	4,4	-

Les concentrations d'exposition estimées pour les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier sont supérieures à celles estimées pour la population de référence non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier, d'un facteur 12 à 8 selon les scénarios.



### ■ Caractérisation des risques pour des effets à court terme à seuil

	Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
	Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Exposition modérée	QD=3,8.10 <sup>-3</sup>	QD=6,0.10 <sup>-3</sup>	QD=8,3.10 <sup>-3</sup>	QD=3,1.10 <sup>-3</sup>
Exposition forte	QD=1,1.10 <sup>-2</sup>	QD=1,8.10 <sup>-2</sup>	QD=2,4.10 <sup>-2</sup>	

QD : quotient de danger.

Les QD obtenus sont inférieurs à 1 et suggèrent l'exposition professionnelle à court terme au benzène chez les travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier serait non préoccupante pour leur santé.

### ■ Caractérisation des risques pour des effets à long terme à seuil

	Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
	Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Exposition modérée	QD=1,5.10 <sup>-2</sup>	QD=2,4.10 <sup>-2</sup>	QD=3,3.10 <sup>-2</sup>	QD=1,5.10 <sup>-2</sup>
Exposition forte	QD=3,0.10 <sup>-2</sup>	QD=4,8.10 <sup>-2</sup>	QD=6,7.10 <sup>-2</sup>	

QD : quotient de danger.

Les QD obtenus sont inférieurs à 1 et suggèrent l'exposition professionnelle à long terme au benzène chez les travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier est non préoccupante pour leur santé.

### ■ Caractérisation des risques pour des effets à long terme sans seuil

	Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier					Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
	Circonstance « extérieur »		Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »		
	Scénario moyen	Scénario atypique	Scénario moyen	Scénario moyen	Scénario atypique	
Exposition modérée	ERI=1,4.10 <sup>-7</sup> (Δ=0,0)	ERI=1,6.10 <sup>-7</sup> (Δ=0,2.10 <sup>-7</sup> )	ERI=2,2.10 <sup>-7</sup> (Δ=0,8.10 <sup>-7</sup> )	ERI=3,1.10 <sup>-7</sup> (Δ=1,7.10 <sup>-7</sup> )	ERI=4,3.10 <sup>-7</sup> (Δ=2,9.10 <sup>-7</sup> )	ERI=1,4.10 <sup>-7</sup>
Exposition forte	ERI=2,8.10 <sup>-7</sup> (Δ=1,4.10 <sup>-7</sup> )	ERI=2,2.10 <sup>-7</sup> (Δ=0,8.10 <sup>-7</sup> )	ERI=4,5.10 <sup>-7</sup> (Δ=3,1.10 <sup>-7</sup> )	ERI=6,1.10 <sup>-7</sup> (Δ=4,7.10 <sup>-7</sup> )	ERI=8,0.10 <sup>-7</sup> (Δ=6,6.10 <sup>-7</sup> )	

Δ : excès de risque individuel travailleurs – excès de risque individuel population de référence ; ERI : excès de risque individuel.

Les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier présentent un excès de risque de leucémie myéloïde aigue attribuable à la surexposition au benzène par rapport à la population de référence non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier.

### 5.3.2.3 Benzo[a]anthracène

#### ■ Estimation des expositions

		Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
		Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Court terme (jour)* ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	N stations (N données)	8 (945)			48 (7 101)
	Exposition modérée	0,1	0,1	0,2	0,0
	Exposition forte	0,6	1,0	1,3	-

\* Les données exploitées pour les calculs ont été restreintes aux jours traditionnellement travaillés (i.e. du lundi au vendredi) dans le but de faire correspondre au mieux l'estimation de l'exposition au temps de travail. N : nombre.

Les concentrations d'exposition estimées au benzo[a]anthracène pour les travailleurs exposés professionnellement à pollution issue du trafic routier sont supérieures à celles estimées pour la population de référence.

### 5.3.2.4 Ethylbenzène

#### ■ Estimation des expositions

		Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
		Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Court terme (jour) ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	N stations (N données)	29 (3 870)			24 (2 404)
	Exposition modérée	0,4	0,6	0,7	0,3
	Exposition forte	1,9	2,7	3,5	
Long terme (année) ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	N stations (N données)	29 (100)			25 (85)
	Exposition modérée	0,5	0,7	0,9	0,3
	Exposition forte	1,6	2,3	3,0	-

N : nombre.

Les concentrations d'exposition estimées à l'éthylbenzène pour les travailleurs exposés professionnellement à pollution issue du trafic routier sont généralement supérieures à celles estimées pour la population de référence, jusqu'à un facteur 10 selon les scénarios.

### ■ Caractérisation des risques pour des effets à court terme à seuil

	Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
	Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Exposition modérée	QD=2,0.10 <sup>-6</sup>	QD=3,0.10 <sup>-6</sup>	QD=3,9.10 <sup>-6</sup>	QD=1,6.10 <sup>-6</sup>
Exposition forte	QD=9,8.10 <sup>-6</sup>	QD=14.10 <sup>-6</sup>	QD=19.10 <sup>-6</sup>	

QD : quotient de danger.

Les QD obtenus sont largement inférieurs à 1 et suggèrent donc que l'exposition professionnelle à court terme à l'éthylbenzène des travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier est non préoccupante pour leur santé.

### ■ Caractérisation des risques pour des effets à long terme à seuil

	Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
	Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Exposition modérée	QD=3,3.10 <sup>-5</sup>	QD=4,8.10 <sup>-5</sup>	QD=6,3.10 <sup>-5</sup>	QD=2,0.10 <sup>-5</sup>
Exposition forte	QD=12.10 <sup>-5</sup>	QD=17.10 <sup>-5</sup>	QD=22.10 <sup>-5</sup>	

QD : quotient de danger.

Les QD obtenus sont largement inférieurs à 1 et suggèrent donc que l'exposition professionnelle à long terme à l'éthylbenzène des travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier est non préoccupante pour leur santé.

#### 5.3.2.5 Fluoranthène

### ■ Estimation des expositions

		Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
		Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Court terme (jour)* (µg.m <sup>-3</sup> )	N stations (N données)	1 (156)			5 (693)
	Exposition modérée	2,6	3,9	5,2	1,5
	Exposition forte	5,0	7,5	10,0	
Long terme (année) (µg.m <sup>-3</sup> )	N stations (N données)	1 (2)			4 (8)
	Exposition modérée	2,9	4,4	5,8	1,8
	Exposition forte	3,2	4,8	6,3	-

\* Les données exploitées pour les calculs ont été restreintes aux jours traditionnellement travaillés (i.e. du lundi au vendredi) dans le but de faire correspondre au mieux l'estimation de l'exposition au temps de travail. N : nombre.

Les concentrations d'exposition estimées au fluoranthène pour les travailleurs exposés professionnellement à pollution issue du trafic routier sont supérieures à celles estimées pour la population de référence, jusqu'à un facteur 6. Néanmoins, ces estimations portent sur des faibles effectifs de stations, limitant fortement leur représentativité spatiale et temporelle, ainsi que la comparabilité des concentrations estimées pour les travailleurs et pour la population de référence.

### ■ Caractérisation des risques pour des effets à long terme sans seuil

	Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier					Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
	Circonstance « extérieur »		Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »		
	Scénario standard	Scénario atypique	Scénario standard	Scénario standard	Scénario atypique	
Exposition modérée	ERI=1,5.10 <sup>-10</sup> (Δ=0,6.10 <sup>-10</sup> )	ERI=1,3.10 <sup>-10</sup> (Δ=0,4.10 <sup>-10</sup> )	ERI=2,3.10 <sup>-10</sup> (Δ=1,4.10 <sup>-10</sup> )	ERI=3,0.10 <sup>-10</sup> (Δ=2,1.10 <sup>-10</sup> )	ERI=4,0.10 <sup>-10</sup> (Δ=3,1.10 <sup>-10</sup> )	ERI=0,9.10 <sup>-10</sup>
Exposition forte	ERI=1,7.10 <sup>-10</sup> (Δ=0,7.10 <sup>-10</sup> )	ERI=1,3.10 <sup>-10</sup> (Δ=0,4.10 <sup>-10</sup> )	ERI=2,5.10 <sup>-10</sup> (Δ=1,6.10 <sup>-10</sup> )	ERI=3,3.10 <sup>-10</sup> (Δ=2,4.10 <sup>-10</sup> )	ERI=4,4.10 <sup>-10</sup> (Δ=3,5.10 <sup>-10</sup> )	

Δ : excès de risque individuel travailleurs – excès de risque individuel population de référence ; ERI : excès de risque individuel.

Avec les réserves précitées liées aux faibles nombres de stations, les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier présentent un excès de risque de cancer pulmonaire attribuable à la surexposition au fluoranthène par rapport à la population de référence non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier.

#### 5.3.2.6 Phénanthrène

### ■ Estimation des expositions

		Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
		Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Court terme (jour)* (μg.m <sup>-3</sup> )	N stations (N données)	1 (155)			5 (762)
	Exposition modérée	11,8	17,7	23,6	6,2
	Exposition forte	21,7	32,6	43,5	-
Long terme (année) (μg.m <sup>-3</sup> )	N stations (N données)	1 (2)			4 (8)
	Exposition modérée	12,5	18,8	25,0	7,2
	Exposition forte	13,0	19,4	25,9	-

\* Les données exploitées pour les calculs ont été restreintes aux jours traditionnellement travaillés (i.e. du lundi au vendredi) dans le but de faire correspondre au mieux l'estimation de l'exposition au temps de travail. N : nombre.

Les concentrations d'exposition estimées au phénanthrène pour les travailleurs exposés professionnellement à pollution issue du trafic routier sont supérieures à celles estimées pour

la population de référence, jusqu'à un facteur 6 sur le court terme. Néanmoins, ces estimations portent sur des faibles effectifs de stations, limitant fortement leur représentativité spatiale et temporelle, ainsi que la comparabilité des concentrations estimées pour les travailleurs et pour la population de référence.

### ■ Caractérisation des risques pour des effets à long terme sans seuil

	Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier					Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
	Circonstance « extérieur »		Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »		
	Scénario moyen	Scénario atypique	Scénario moyen	Scénario moyen	Scénario atypique	
Exposition modérée	ERI=6,5.10 <sup>-10</sup> (Δ=2,8.10 <sup>-10</sup> )	ERI=5,4.10 <sup>-10</sup> (Δ=1,7.10 <sup>-10</sup> )	ERI=9,8.10 <sup>-10</sup> (Δ=6,1.10 <sup>-10</sup> )	ERI=1,3.10 <sup>-9</sup> (Δ=9,3.10 <sup>-10</sup> )	ERI=1,7.10 <sup>-9</sup> (Δ=14.10 <sup>-10</sup> )	ERI=3,7.10 <sup>-10</sup>
Exposition forte	ERI=6,8.10 <sup>-10</sup> (Δ=3,0.10 <sup>-10</sup> )	ERI=5,5.10 <sup>-10</sup> (Δ=1,8.10 <sup>-10</sup> )	ERI=1,0.10 <sup>-9</sup> (Δ=6,4.10 <sup>-10</sup> )	ERI=1,4.10 <sup>-9</sup> (Δ=9,8.10 <sup>-10</sup> )	ERI=1,8.10 <sup>-9</sup> (Δ=14.10 <sup>-10</sup> )	

Δ : excès de risque individuel travailleurs – excès de risque individuel population de référence ; ERI : excès de risque individuel.

Avec les réserves précitées liées au faible nombre de stations, les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier présentent un excès de risque de cancer pulmonaire attribuable à la surexposition au phénanthrène par rapport à la population de référence non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier.

#### 5.3.2.7 Pyrène

### ■ Estimation des expositions

		Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
		Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Court terme (jour)* (µg.m <sup>-3</sup> )	N stations (N données)	1 (156)			5 (686)
	Exposition modérée	3,2	4,8	6,4	1,1
	Exposition forte	6,0	9,0	12,1	-
Long terme (année) (µg.m <sup>-3</sup> )	N stations (N données)	1 (2)			4 (8)
	Exposition modérée	3,5	5,2	6,9	1,4
	Exposition forte	3,6	5,4	7,2	-

\* Les données exploitées pour les calculs ont été restreintes aux jours traditionnellement travaillés (i.e. du lundi au vendredi) dans le but de faire correspondre au mieux l'estimation de l'exposition au temps de travail.

Les concentrations d'exposition estimées au pyrène pour les travailleurs exposés professionnellement à pollution issue du trafic routier sont supérieures à celles estimées pour la population de référence, jusqu'à un facteur 10 sur le court terme. Néanmoins, ces estimations portent sur des faibles effectifs de stations, limitant fortement leur représentativité

spatiale et temporelle, ainsi que la comparabilité des concentrations estimées pour les travailleurs et pour la population de référence.

### ■ Caractérisation des risques pour des effets à long terme sans seuil

	Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier					Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
	Circonstance « extérieur »		Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »		
	Scénario moyen	Scénario atypique	Scénario moyen	Scénario moyen	Scénario atypique	
Exposition modérée	ERI=1,8.10 <sup>-10</sup> (Δ=1,1.10 <sup>-10</sup> )	ERI=1,2.10 <sup>-10</sup> (Δ=0,5.10 <sup>-10</sup> )	ERI=2,7.10 <sup>-10</sup> (Δ=2,0.10 <sup>-10</sup> )	ERI=3,6.10 <sup>-10</sup> (Δ=2,9.10 <sup>-10</sup> )	ERI=4,7.10 <sup>-10</sup> (Δ=4,0.10 <sup>-10</sup> )	0,7.10 <sup>-10</sup>
Exposition forte	ERI=1,9.10 <sup>-10</sup> (Δ=1,2.10 <sup>-10</sup> )	ERI=1,3.10 <sup>-10</sup> (Δ=0,6.10 <sup>-10</sup> )	ERI=2,8.10 <sup>-10</sup> (Δ=2,1.10 <sup>-10</sup> )	ERI=3,7.10 <sup>-10</sup> (Δ=3,0.10 <sup>-10</sup> )	ERI=4,8.10 <sup>-10</sup> (Δ=4,1.10 <sup>-10</sup> )	

Δ : excès de risque individuel travailleurs – excès de risque individuel population de référence ; ERI : excès de risque individuel.

Avec les réserves précitées liées au faible nombre de stations, les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier présentent un excès de risque de cancer pulmonaire attribuable à la surexposition au pyrène par rapport à la population de référence non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier.

## 5.3.3 Métaux

### 5.3.3.1 Antimoine

#### ■ Estimation des expositions

		Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
		Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Court terme (jour)* (ng.m <sup>-3</sup> )	N stations (N données)	3 (239)			22 (2 278)
	Exposition modérée	2,3	3,2	4,1	0,7
	Exposition forte	8,7	12,1	15,6	-

\* Les données exploitées pour les calculs ont été restreintes aux jours traditionnellement travaillés (i.e. du lundi au vendredi) dans le but de faire correspondre au mieux l'estimation de l'exposition au temps de travail. N : nombre.

Quel que soit le scénario considéré, les concentrations d'exposition estimées pour les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier sont largement supérieures à celles estimées pour la population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier), d'un facteur 4 à 23 selon les scénarios. Le groupe de travail note l'influence forte des situations d'exposition en habitacles dans cette comparaison.

### ■ Caractérisation des risques pour des effets à court terme à seuil

	Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
	Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Exposition modérée	QD=1,7.10 <sup>-4</sup>	QD=2,4.10 <sup>-4</sup>	QD=3,1.10 <sup>-4</sup>	QD=5,2.10 <sup>-5</sup>
Exposition forte	QD=6,7.10 <sup>-4</sup>	QD=9,3.10 <sup>-4</sup>	QD=12.10 <sup>-4</sup>	

QD : quotient de danger.

Les QD obtenus sont inférieurs à 1 et suggèrent que l'exposition professionnelle à court terme à l'antimoine des travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier, serait non préoccupante pour leur santé.

#### 5.3.3.2 Baryum

### ■ Estimation des expositions

		Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
		Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Court terme (jour)* (ng.m <sup>-3</sup> )	N stations (N données)	2 (144)			21 (1 965)
	Exposition modérée	14,7	20,5	26,4	3,2
	Exposition forte	52,4	73,4	94,3	-
Long terme (année) (ng.m <sup>-3</sup> )	N stations (N données)	1 (2)			6 (15)
	Exposition modérée	19,0	26,6	34,2	11,0
	Exposition forte	20,8	29,1	37,4	

\* Les données exploitées pour les calculs ont été restreintes aux jours traditionnellement travaillés (i.e. du lundi au vendredi) dans le but de faire correspondre au mieux l'estimation de l'exposition au temps de travail. N : nombre.

Quel que soit le scénario considéré, les concentrations d'exposition estimées pour les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier sont largement supérieures à celles estimées pour la population de référence non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier, jusqu'à un facteur 8 pour le scénario d'exposition modérée à court terme du travail en habitacle. Le groupe de travail note l'influence forte des situations d'exposition en habitacles dans cette comparaison. Néanmoins, les faibles effectifs de stations et de données, notamment pour le long terme, limitent la représentativité spatiale et temporelle des données de concentration.



### ■ Caractérisation des risques pour des effets à long terme à seuil

	Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
	Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Exposition modérée	QD=1,2.10 <sup>-3</sup>	QD=1,7.10 <sup>-3</sup>	QD=2,1.10 <sup>-3</sup>	QD=6,9.10 <sup>-4</sup>
Exposition forte	QD=1,3.10 <sup>-3</sup>	QD=1,8.10 <sup>-3</sup>	QD=2,3.10 <sup>-3</sup>	

QD = quotient de danger.

Avec les réserves précitées liées au faible nombre de stations pour ce polluant, les QD obtenus sont inférieurs à 1 et suggèrent que l'exposition professionnelle à long terme au baryum des travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier serait non préoccupante pour leur santé.

#### 5.3.3.3 Chrome

### ■ Evaluation des expositions

		Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
		Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Court terme (jour)* (ng.m <sup>-3</sup> )	<i>N stations (N données)</i>	1 (56)			20 (1 888)
	Exposition modérée	5,5	7,6	9,8	1,0
	Exposition forte	16,8	23,6	30,3	-

\* Les données exploitées pour les calculs ont été restreintes aux jours traditionnellement travaillés (i.e. du lundi au vendredi) dans le but de faire correspondre au mieux l'estimation de l'exposition au temps de travail. N : nombre.

Quel que soit le scénario considéré, les concentrations d'exposition estimées pour les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier sont largement supérieures à celles estimées pour la population de référence non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier, d'un facteur 5 à 30 selon les scénarios. Le groupe de travail note l'influence forte des situations d'exposition en habitacles dans cette comparaison. Néanmoins, les faibles effectifs de stations et de données pour ce polluant limitent la représentativité spatiale et temporelle des données de concentration.

### 5.3.3.4 Cuivre

#### ■ Evaluation des expositions

		Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
		Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Court terme (jour)* (ng.m <sup>-3</sup> )	N stations (N données)	3 (239)			22 (2 279)
	Exposition modérée	22,9	32,0	41,2	6,1
	Exposition forte	79,6	111,4	143,2	-

\* Les données exploitées pour les calculs ont été restreintes aux jours traditionnellement travaillés (i.e. du lundi au vendredi) dans le but de faire correspondre au mieux l'estimation de l'exposition au temps de travail. N : nombre.

Les concentrations d'exposition estimées pour les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier sont largement supérieures à celles estimées pour la population de référence non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier, d'un facteur 4 à 23 selon les scénarios. Le groupe de travail note l'influence forte des situations d'exposition en habitacles dans cette comparaison.

### 5.3.3.5 Etain

#### ■ Evaluation des expositions

		Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
		Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Court terme (jour)* (ng.m <sup>-3</sup> )	N stations (N données)	1 (56)			20 (1 902)
	Exposition modérée	4,0	5,7	7,3	1,3
	Exposition forte	9,2	12,8	16,5	-

\* Les données exploitées pour les calculs ont été restreintes aux jours traditionnellement travaillés (i.e. du lundi au vendredi) dans le but de faire correspondre au mieux l'estimation de l'exposition au temps de travail. N : nombre.

Les concentrations d'exposition estimées pour les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier sont largement supérieures à celles estimées pour la population de référence non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier, jusqu'à un facteur 13 pour la circonstance de travail en habitacle et le scénario d'exposition forte. Néanmoins, les faibles effectifs de stations et de données pour ce polluant limitent la représentativité spatiale et temporelle des données de concentration.

5.3.3.6 Fer

## ■ Evaluation des expositions

		Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
		Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Court terme (jour)* (ng.m <sup>-3</sup> )	N stations (N données)	3 (239)			22 (2 279)
	Exposition modérée	504,5	706,3	908,1	183,3
	Exposition forte	1 989,5	2 785,4	3 581,2	-

\* Les données exploitées pour les calculs ont été restreintes aux jours traditionnellement travaillés (i.e. du lundi au vendredi) dans le but de faire correspondre au mieux l'estimation de l'exposition au temps de travail. N : nombre.

Quel que soit le scénario considéré, les concentrations d'exposition estimées pour les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier sont largement supérieures à celles estimées pour la population de référence non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier, jusqu'à un facteur 20 pour la circonstance de travail en habitacle et le scénario d'exposition forte. Le groupe de travail note l'influence forte des situations d'exposition en habitacles dans cette comparaison.

5.3.3.7 Manganèse

## ■ Evaluation des expositions

		Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
		Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Court terme (jour)* (ng.m <sup>-3</sup> )	N stations (N données)	3 (239)			22 (2 279)
	Exposition modérée	9,9	13,9	17,9	4,2
	Exposition forte	36,9	51,7	66,5	-

\* Les données exploitées pour les calculs ont été restreintes aux jours traditionnellement travaillés (i.e. du lundi au vendredi) dans le but de faire correspondre au mieux l'estimation de l'exposition au temps de travail. N : nombre.

Les concentrations d'exposition estimées pour les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier sont largement supérieures à celles estimées pour la population de référence non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier, d'un facteur 2 à 16 selon les scénarios. Le groupe de travail note l'influence forte des situations d'exposition en habitacles dans cette comparaison.

5.3.3.8 Zinc

## ■ Evaluation des expositions

		Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
		Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Court terme (jour)* ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	N stations (N données)	3 (239)			22 (2 279)
	Exposition modérée	35,4	49,5	63,6	13,0
	Exposition forte	148,2	207,5	266,7	-

\* Les données exploitées pour les calculs ont été restreintes aux jours traditionnellement travaillés (i.e. du lundi au vendredi) dans le but de faire correspondre au mieux l'estimation de l'exposition au temps de travail. N : nombre.

Quel que soit le scénario considéré, les concentrations d'exposition estimées pour les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier sont largement supérieures à celles estimées pour la population de référence non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier, d'un facteur 3 à 20. Le groupe de travail note l'influence forte des situations d'exposition en habitacles dans cette comparaison.

## 5.3.4 Particules et leurs composés

5.3.4.1 Particules ultrafines

## ■ Estimation des expositions

		Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
		Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Court terme (jour)* ( $\text{p}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	N stations (N données)	2 (412)			14 (3 389)
	Exposition modérée	9 512,5	NC	NC	7 707,0
	Exposition forte	16 112,8	NC	NC	-
Long terme (année)* ( $\text{p}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	N stations (N données)	1 (1)			10 (10)
	Exposition modérée	NA**	NC	NC	8 001,8
	Exposition forte	NA**	NC	NC	-

NC : non calculable en l'absence de ratio entre concentrations ambiantes et concentrations habitacles. \* Les données exploitées pour les calculs ont été restreintes aux jours traditionnellement travaillés (i.e. du lundi au vendredi) dans le but de faire correspondre au mieux l'estimation de l'exposition au temps de travail. \*\* Une seule donnée est disponible et elle n'a pas été exploitée pour estimer les expositions.

Les particules submicroniques dont le diamètre aérodynamique médian est inférieur à 100 nm sont considérées comme des particules ultrafines. En pratique, les fractions mesurées peuvent être par exemple de 10-500 nm ou de 10-800 nm selon les conventions ou appareils. Les concentrations de particules ultrafines présentées ici concernent la fraction avec un diamètre aérodynamique médian entre 7 nm et 1  $\mu\text{m}$ .

Quel que soit le scénario considéré, les concentrations d'exposition estimées pour les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier sont supérieures à celles estimées pour la population de référence non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier. Le faible effectif de stations (n=1) sous influence trafic sur le long terme limite fortement la représentativité spatiale et temporelle des données de concentration, et empêche de conclure fermement sur la surexposition des travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier.

### 5.3.4.2 Carbone suie

#### ■ Estimation des expositions

		Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
		Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Court terme (jour)* ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	N stations (N données)	12 (6 289)			62 (33 684)
	Exposition modérée	2,3	5,3	8,3	1,0
	Exposition forte	9,2	21,2	32,9	-
Long terme (année)** ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	N stations (N données)	7 (23)			37 (107)
	Exposition modérée	2,3	5,2	8,1	1,1
	Exposition forte	5,0	11,5	18,1	-

\* Les données exploitées pour les calculs ont été restreintes aux jours traditionnellement travaillés (i.e. du lundi au vendredi) dans le but de faire correspondre au mieux l'estimation de l'exposition au temps de travail. \*\* Les données exploitées pour les calculs ont été restreintes aux jours et horaires traditionnellement travaillés (i.e. du lundi au vendredi de 7h à 19h). N : nombre.

Pour maximiser les données exploitables dans les estimations d'exposition à court terme (jour), les concentrations en eBC<sup>25</sup> ont été transformées en concentrations « équivalentes carbone élémentaire », en utilisant les facteurs de conversion de HEI panel (2022) afin qu'elles puissent être considérées ensemble et en accord avec la valeur sanitaire de référence (exprimée en carbone élémentaire). La valeur finale intégrant les concentrations des deux métriques et présentée dans le tableau ci-dessus a été pondérée par le nombre de valeurs disponibles pour chacune.

Les concentrations d'exposition estimées pour les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier sont largement supérieures à celles estimées pour la population de référence, non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier, d'un facteur 2 à 32 selon les scénarios. Le groupe de travail note l'influence forte des situations d'exposition en habitacles dans cette comparaison.

<sup>25</sup> Concentrations « équivalent *black carbon* », exprimées en  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  et issues de la conversion de la mesure optique (alors exprimée en  $\text{m}^{-1}$ ) réalisée par certaines méthodes de mesure (LCSQA 2012).

### ■ Caractérisation des risques pour des effets à court terme sans seuil

	Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier					Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
	Circonstance « extérieur »		Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »		
	Scénario moyen	Scénario atypique	Scénario moyen	Scénario moyen	Scénario atypique	
Exposition modérée	ERI=0,6.10 <sup>-6</sup> (Δ=0,4.10 <sup>-6</sup> )	ERI=1,0.10 <sup>-6</sup> (Δ=0,7.10 <sup>-6</sup> )	ERI=1,4.10 <sup>-6</sup> (Δ=1,2.10 <sup>-6</sup> )	ERI=2,2.10 <sup>-6</sup> (Δ=2,0.10 <sup>-6</sup> )	ERI=4,5.10 <sup>-6</sup> (Δ=4,2.10 <sup>-6</sup> )	ERI=0,3.10 <sup>-6</sup>
Exposition forte	ERI=2,5.10 <sup>-6</sup> (Δ=2,2.10 <sup>-6</sup> )	ERI=4,0.10 <sup>-6</sup> (Δ=3,7.10 <sup>-6</sup> )	ERI=5,7.10 <sup>-6</sup> (Δ=5,4.10 <sup>-6</sup> )	ERI=8,9.10 <sup>-6</sup> (Δ=8,6.10 <sup>-6</sup> )	ERI=18.10 <sup>-6</sup> (Δ=18.10 <sup>-6</sup> )	

Δ : excès de risque individuel travailleurs – excès de risque individuel population de référence ; ERI : excès de risque individuel.

Quel que soit le scénario considéré, les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier présentent un excès de risque d'hospitalisations pour causes cardiovasculaires attribuable à la surexposition à court terme à la pollution au carbone suie par rapport à la population de référence, non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier.

Pour 1 000 000 de personnes exposées pendant le temps de travail sur une journée, jusqu'à 18 cas supplémentaires par jour seraient attribuables à la surexposition professionnelle à la pollution au carbone suie chez les travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou en proximité du trafic routier, par rapport à ce qui serait observé dans la population de référence.

Le carbone suie est une composante des particules (PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>10</sub>). Ainsi, les nombre de cas attribuables estimés pour le carbone suie ne peuvent être additionnés avec ceux estimés pour les PM<sub>2,5</sub> ou les PM<sub>10</sub>, au risque d'entraîner des double-comptages.

### ■ Caractérisation des risques pour des effets à long terme sans seuil

	Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier					Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
	Circonstance « extérieur »		Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »		
	Scénario moyen	Scénario atypique	Scénario moyen	Scénario moyen	Scénario atypique	
Exposition modérée	ERI=1,4.10 <sup>-2</sup> (Δ=0,6.10 <sup>-2</sup> )	ERI=1,1.10 <sup>-2</sup> (Δ=0,4.10 <sup>-2</sup> )	ERI=2,2.10 <sup>-2</sup> (Δ=1,4.10 <sup>-2</sup> )	ERI=2,3.10 <sup>-2</sup> (Δ=1,5.10 <sup>-2</sup> )	ERI=3,1.10 <sup>-2</sup> (Δ=2,3.10 <sup>-2</sup> )	ERI=0,8.10 <sup>-2</sup>
Exposition forte	ERI=2,1.10 <sup>-2</sup> (Δ=1,4.10 <sup>-2</sup> )	ERI=1,4.10 <sup>-2</sup> (Δ=0,6.10 <sup>-2</sup> )	ERI=2,4.10 <sup>-2</sup> (Δ=1,7.10 <sup>-2</sup> )	ERI=5,6.10 <sup>-2</sup> (Δ=4,9.10 <sup>-2</sup> )	ERI=3,1.10 <sup>-2</sup> (Δ=2,3.10 <sup>-2</sup> )	

Δ : excès de risque individuel travailleurs – excès de risque individuel population de référence ; ERI : excès de risque individuel. Les estimations d'expositions exprimées en μg.m<sup>-3</sup> (eBC) ont été converties en m<sup>-1</sup> (équivalent absorbance) en utilisant les facteurs proposés par HEI panel (2022).

Quel que soit le scénario considéré, les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier présentent un excès de risque (atteignant un facteur 7 dans le pire cas) de décès anticipé attribuable à la surexposition à long terme à la pollution au carbone suie par

rapport à la population de référence non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier.

Pour 10 000 personnes exposées pendant le temps de travail sur la vie professionnelle entière, de 40 à 490 cas supplémentaires selon les scénarios seraient attribuables à la surexposition professionnelle à la pollution au carbone suie chez les travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou en proximité du trafic routier, par rapport à ce qui serait observé dans la population de référence.

Le carbone suie est une composante des particules (PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>10</sub>). Ainsi, les nombre de cas attribuables estimés pour le carbone suie ne peuvent être additionnés avec ceux estimés pour les PM<sub>2,5</sub> ou les PM<sub>10</sub>, au risque d'entraîner des double-comptages.

### 5.3.4.3 PM<sub>10</sub>

#### ■ Estimation des expositions

		Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
		Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Court terme (jour)* (µg.m <sup>-3</sup> )	N stations (N données)	109 (120 265)			289 (358 145)
	Exposition modérée	21,1	29,5	38,0	14,7
	Exposition forte	48,8	68,3	87,8	-
Long terme (année)* (µg.m <sup>-3</sup> )	N stations (N données)	99 (470)			280 (1 418)
	Exposition modérée	22,3	31,2	40,2	16,6
	Exposition forte	36,0	50,3	64,7	-

\* Les données exploitées pour les calculs ont été restreintes aux jours et horaires traditionnellement travaillés (i.e. du lundi au vendredi de 7h à 19h) dans le but de faire correspondre au mieux l'estimation de l'exposition au temps de travail. N : nombre.

Les concentrations d'exposition estimées pour les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier sont largement supérieures à celles estimées pour la population de référence non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier, d'un facteur 1,5 à 6 selon les scénarios. Le groupe de travail note l'influence forte des situations d'exposition en habitacles dans cette comparaison.



### ■ Caractérisation des risques pour des effets à court terme sans seuil

	Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier					Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
	Circonstance « extérieur »		Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »		
	Scénario moyen	Scénario atypique	Scénario moyen	Scénario moyen	Scénario atypique	
Exposition modérée	ERI=2,7.10 <sup>-7</sup> (Δ=0,8.10 <sup>-7</sup> )	ERI=4,3.10 <sup>-7</sup> (Δ=2,4.10 <sup>-7</sup> )	ERI=2,8.10 <sup>-7</sup> (Δ=0,9.10 <sup>-7</sup> )	ERI=3,0.10 <sup>-7</sup> (Δ=1,0.10 <sup>-7</sup> )	ERI=6,0.10 <sup>-7</sup> (Δ=4,0.10 <sup>-7</sup> )	ERI=2,0.10 <sup>-7</sup>
Exposition forte	ERI=3,1.10 <sup>-7</sup> (Δ=1,1.10 <sup>-7</sup> )	ERI=5,0.10 <sup>-7</sup> (Δ=3,0.10 <sup>-7</sup> )	ERI=3,4.10 <sup>-7</sup> (Δ=1,4.10 <sup>-7</sup> )	ERI=3,7.10 <sup>-7</sup> (Δ=1,7.10 <sup>-7</sup> )	ERI=7,4.10 <sup>-7</sup> (Δ=5,5.10 <sup>-7</sup> )	

Δ : excès de risque individuel travailleurs – excès de risque individuel population de référence ; ERI : excès de risque individuel.

Quel que soit le scénario considéré, les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier présentent un excès de risque (jusqu'à un facteur 4) d'hospitalisation de causes cardiaques attribuable à la surexposition à court terme à la pollution aux PM<sub>10</sub> par rapport à la population de référence, non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier.

Pour 1 000 000 de personnes exposées pendant le temps de travail sur une journée, jusqu'à 5 cas supplémentaires seraient attribuables à la surexposition professionnelle à la pollution aux PM<sub>10</sub> chez les travailleurs exerçant sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier, par rapport à ce qui serait observé dans la population de référence.

Le carbone suie et les PM<sub>2,5</sub> sont des composantes des PM<sub>10</sub>. Ainsi, les nombres de cas attribuables estimés pour les PM<sub>10</sub> ne peuvent être additionnés à ceux estimés pour le carbone suie et les PM<sub>2,5</sub>, au risque d'entraîner des double-comptages.

### ■ Caractérisation des risques pour des effets à long terme sans seuil

Les risques d'effets à long terme sont caractérisés à partir des données d'exposition aux PM<sub>2,5</sub>, et non à partir des données d'exposition aux PM<sub>10</sub>, tel que préconisé dans le rapport sur les VTR des particules de l'air ambiant (Anses 2024a). En effet, l'Anses ne recommande pas de VTR long terme pour les PM<sub>10</sub> en plus de celle recommandée pour les PM<sub>2,5</sub> car les risques à long terme sont plus largement documentés pour la fraction fine PM<sub>2,5</sub>, incluse dans la fraction PM<sub>10</sub>. Par ailleurs, les risques rapportés de l'exposition à long terme aux PM<sub>10</sub> pour la mortalité toutes causes, la mortalité par cardiopathie ischémique, la mortalité toutes causes respiratoires et la mortalité par cancer du poumon sont d'une amplitude moindre que ceux rapportés pour les PM<sub>2,5</sub> (Chen et Hoek 2020). Enfin, les concentrations moyennes annuelles de PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>10</sub> apparaissent très corrélées, quelle que soit la zone géographique (LCSQA 2007).

5.3.4.4 PM<sub>2,5</sub>

## ■ Estimation des expositions

		Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier			Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
		Circonstance « extérieur »	Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »	
Court terme (jour)* ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	N stations (N données)	62 (62 230)			181 (193 403)
	Exposition modérée	9,1	21,0	32,9	7,1
	Exposition forte	24,7	56,8	88,8	-
Long terme (année)* ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	N stations (N données)	55 (241)			172 (756)
	Exposition modérée	10,5	24,1	37,7	8,9
	Exposition forte	15,6	35,9	56,2	-

\* Les données exploitées pour les calculs ont été restreintes aux jours et horaires traditionnellement travaillés (i.e. du lundi au vendredi de 7h à 19h) dans le but de faire correspondre au mieux l'estimation de l'exposition au temps de travail. N : nombre.

Les concentrations d'exposition estimées pour les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier sont supérieures à celles estimées pour la population de référence non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier, allant d'un facteur 1,2 à 12 selon les scénarios. Le groupe de travail note l'influence forte des situations d'exposition en habitacles dans cette comparaison.

## ■ Caractérisation des risques pour des effets à court terme sans seuil

	Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier					Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
	Circonstance « extérieur »		Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »		
	Scénario standard	Scénario atypique	Scénario standard	Scénario standard	Scénario atypique	
Exposition modérée	ERI=2,8.10 <sup>-7</sup> ( $\Delta=0,6\cdot 10^{-7}$ )	ERI=4,7.10 <sup>-7</sup> ( $\Delta=2,6\cdot 10^{-7}$ )	ERI=3,1.10 <sup>-7</sup> ( $\Delta=1,0\cdot 10^{-7}$ )	ERI=3,3.10 <sup>-7</sup> ( $\Delta=1,2\cdot 10^{-7}$ )	ERI=6,7.10 <sup>-7</sup> ( $\Delta=4,6\cdot 10^{-7}$ )	ERI=2,2.10 <sup>-7</sup>
Exposition forte	ERI=3,2.10 <sup>-7</sup> ( $\Delta=1,0\cdot 10^{-7}$ )	ERI=5,1.10 <sup>-7</sup> ( $\Delta=2,9\cdot 10^{-7}$ )	ERI=3,6.10 <sup>-7</sup> ( $\Delta=1,5\cdot 10^{-7}$ )	ERI=4,1.10 <sup>-7</sup> ( $\Delta=1,9\cdot 10^{-7}$ )	ERI=8,3.10 <sup>-7</sup> ( $\Delta=6,2\cdot 10^{-7}$ )	

$\Delta$  : excès de risque individuel travailleurs – excès de risque individuel population de référence : ERI : excès de risque individuel.

Quel que soit le scénario considéré, les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier présentent un excès de risque d'hospitalisations de causes cardiaques attribuable à la surexposition à court terme aux PM<sub>2,5</sub> par rapport à la population de référence, non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier.

Pour 1 000 000 de personnes exposées pendant le temps de travail sur une journée, jusqu'à 6 cas supplémentaires par jour seraient attribuables à la surexposition professionnelle à la pollution aux PM<sub>2,5</sub> chez les travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier, par rapport à ce qui serait observé dans la population de référence.

Le carbone suie est une composante des PM<sub>2,5</sub>, eux-mêmes inclus dans les PM<sub>10</sub>. Ainsi, les nombres de cas attribuables estimés pour ces polluants ne peuvent être additionnés, au risque d'entraîner des double-comptages.

### ■ Caractérisation des risques pour des effets à long terme sans seuil

	Population de travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier					Population de référence (non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier)
	Circonstance « extérieur »		Circonstance « mixte »	Circonstance « habitacle »		
	Scénario moyen	Scénario atypique	Scénario moyen	Scénario moyen	Scénario atypique	
Exposition modérée	ERI=1,3.10 <sup>-2</sup> (Δ=0,2.10 <sup>-2</sup> )	ERI=1,4.10 <sup>-2</sup> (Δ=0,2.10 <sup>-2</sup> )	ERI=2,2.10 <sup>-2</sup> (Δ=1,1.10 <sup>-2</sup> )	ERI=2,6.10 <sup>-2</sup> (Δ=1,5.10 <sup>-2</sup> )	ERI=3,6.10 <sup>-2</sup> (Δ=2,5.10 <sup>-2</sup> )	ERI=1,1.10 <sup>-2</sup>
Exposition forte	ERI=1,7.10 <sup>-2</sup> (Δ=0,5.10 <sup>-2</sup> )	ERI=1,5.10 <sup>-2</sup> (Δ=0,4.10 <sup>-2</sup> )	ERI=2,9.10 <sup>-2</sup> (Δ=1,8.10 <sup>-2</sup> )	ERI=9,2.10 <sup>-2</sup> (Δ=8,1.10 <sup>-2</sup> )	ERI=1,2.10 <sup>-1</sup> (Δ=11.10 <sup>-2</sup> )	

Δ : excès de risque individuel travailleurs – excès de risque individuel population de référence : ERI : excès de risque individuel.

Quel que soit le scénario considéré, les travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier présentent un excès de risque décès anticipé attribuable à la surexposition à long terme aux PM<sub>2,5</sub> par rapport à la population de référence non exposée professionnellement à la pollution issue du trafic routier.

Pour 10 000 personnes exposées pendant le temps de travail sur la vie professionnelle entière, de 20 à 1 100 cas supplémentaires selon les scénarios seraient attribuables à la surexposition professionnelle aux PM<sub>2,5</sub> chez les travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier, par rapport à ce qui serait observé dans la population de référence.

Le carbone suie est une composante des PM<sub>2,5</sub>, eux-mêmes inclus dans les PM<sub>10</sub>. Ainsi, les nombres de cas attribuables estimés pour ces polluants ne peuvent être additionnés, au risque d'entraîner des double-comptages.

## 5.4 Conclusion

Une synthèse des données disponibles et des analyses menées est proposée dans le Tableau 19. Le calcul des risques dépend de la disponibilité des données de concentration et de la disponibilité des valeurs sanitaires de référence sur la même durée.

Tableau 19. Synthèse des données disponibles et des analyses menées

		Concentrations d'exposition		Valeur sanitaire de référence par inhalation		Caractérisation des risques	
		Ambiantes	Habitacles	Court terme	Long terme	Court terme	Long terme
Aldéhydes	Formaldéhyde	-	-	-	-	-	-
Composés inorganiques	Ammoniac	x	-	x (as)	x (as)	x	x
	Dioxyde d'azote	x	x	x (as)	x (as)	x	x
	Ions nitrates	x	-	-	-	-	-
Hydrocarbures	Anthracène	x	x	-	x (ss)	-	x
	Benzène	x	x	x (as)	x (as, ss)	x	x
	Benzo[a]anthracène	x	x	-	- (nr)	-	x
	Éthylbenzène	x	x	x (as)	x (as)	x	x
	Fluoranthène	x	x	-	x (ss)	-	x
	Naphtalène	-	-	-	- (nr)	-	-
	Phénanthrène	x	x	-	x (ss)	-	x
	Pyrène	x	x	-	x (ss)	-	x
Métaux	Antimoine	x	x	-	-	-	-
	Baryum	x	x	-	x (as)	-	x
	Chrome	x	x	-	-	-	-
	Cuivre	x	x	-	-	-	-
	Etain	x	x	-	-	-	-
	Fer	x	x	-	-	-	-
	Manganèse	x	x	-	-	-	-
	Zinc	x	x	-	-	-	-
Particules et composés	Carbone suie	x	x	x (ss)	x (ss)	x	x
	Particules ultrafines	x	-	-	-	-	-
	PM <sub>10</sub>	x	x	x (ss)	x (ss)	x	-*
	PM <sub>2,5</sub>	x	x	x (ss)	x (ss)	x	x

- : donnée non disponible ou analyse non menée ; As : valeur à seuil ; ss : valeur sans seuil ; nr : valeur de référence disponible mais non retenue car ne correspondant pas aux données de concentrations ; x : donnée disponible ou analyse menée. \* Sur le long terme, les PM<sub>2,5</sub> ont été privilégiées.

Les résultats montrent que certaines circonstances d'exposition des travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier peuvent induire des excès de risques sanitaires en comparaison de la population de référence, non exposée professionnellement à pollution issue du trafic routier. De manière générale, les activités professionnelles impliquant la présence dans un habitacle de véhicule circulant dans le flux du

trafic sont associées aux excès de risques les plus élevés, en lien avec une surexposition plus importante.

#### ■ Pour les polluants issus du trafic routier avec effets « sans seuil »

Les résultats montrent :

- un excès de risque d'hospitalisation cardiovasculaire lié à l'exposition professionnelle à court terme (journalière) au **carbone suie** de l'ordre de  $10^{-7}$ - $10^{-5}$  et un excès de risque de décès anticipé lié à l'exposition professionnelle à long terme de l'ordre de  $10^{-3}$ - $10^{-2}$ .
- un excès de risque d'hospitalisation cardiaque lié à l'exposition professionnelle à court terme (journalière) aux **PM<sub>2,5</sub> et aux PM<sub>10</sub>** de l'ordre de  $10^{-7}$ - $10^{-8}$  et un excès de risque de décès anticipé lié à l'exposition professionnelle à long terme aux PM<sub>2,5</sub> de l'ordre de  $10^{-3}$ - $10^{-1}$ .
- un excès de risque de cancer des voies respiratoires lié à l'exposition professionnelle à long terme aux **HAP en phase particulaire inclus** (Anthracène, Fluoranthène, Phénanthrène et Pyrène) de l'ordre de  $10^{-10}$ - $10^{-9}$  lorsque considérés individuellement. Cette estimation caractérise le risque lié aux espèces de HAP principalement concernées par la source trafic routier. Cette estimation ne considère pas l'exposition de l'ensemble des HAP potentiellement présents en mélange<sup>26</sup>.
- un excès de risque de leucémies aiguës myéloïdes lié à l'exposition professionnelle à long terme au **benzène** de l'ordre de  $10^{-8}$ - $10^{-7}$ .

#### ■ Pour les polluants issus du trafic routier avec effets « à seuil »

Les résultats montrent des situations d'exposition préoccupante en lien avec l'exposition professionnelle à court terme et à long terme au **dioxyde d'azote** (QD > 1).

Les résultats ne montrent pas de situation d'exposition préoccupante en lien avec l'exposition à l'**ammoniac** ou aux **métaux** (QD < 1).

Il est important de noter que, pour le dioxyde d'azote, les PM<sub>10</sub>, les PM<sub>2,5</sub> et le carbone suie, la population générale est déjà exposée à des niveaux de pollution induisant des risques sanitaires élevés à court terme et long terme. Les excès de risque observés chez les travailleurs exposés professionnellement à la pollution atmosphérique issue du trafic routier viennent s'ajouter à ces risques.

## 5.5 Incertitudes

Les circonstances d'exposition définies dans la présente analyse considèrent le positionnement de l'individu par rapport à la route et la présence dans un habitacle, tant pour la population des travailleurs exposés professionnellement à la pollution issue du trafic routier (sur une route dans un habitacle et/ou à proximité d'une route en extérieur) que pour la population de référence (et en dehors de l'influence de toute route). Ces circonstances d'exposition ont été choisies pour leur simplicité d'interprétation et de mise en œuvre au regard des données et des informations recueillies par le groupe de travail.

<sup>26</sup> La somme des ERI obtenus pour les HAP individuels constitue une estimation de l'excès de risque lié à l'exposition à long terme à leur mélange. Elle est de l'ordre de  $10^{-9}$  pour les quatre HAP inclus dans l'analyse.

Outre le positionnement, d'autres déterminants peuvent avoir un impact majeur sur les niveaux d'exposition des travailleurs. Le groupe de travail souligne que certains déterminants peuvent être considérés comme des facteurs aggravants de l'exposition (paragraphe 5.1) et ont un rôle potentiel dans les actions de prévention et de réduction de l'exposition. Leur prise en compte dans les circonstances d'exposition était i) trop incertaine en raison d'un manque de données (par exemple, l'information du trafic journalier moyen annuel était manquante pour 35 % des stations de mesure sous influence trafic) ou ii) trop complexe en raison de leur caractère ponctuel et variable selon les activités (par exemple, l'état de congestion du trafic).

Les principales incertitudes associées aux différentes étapes de la démarche d'évaluation des risques sont synthétisées ci-après.

A l'étape d'identification et de caractérisation des dangers, certains polluants n'ont pas été retenus, parfois en raison de l'absence de VTR. La dérivation de ces dernières est soumise à des incertitudes principalement en lien avec l'extrapolation des fortes concentrations au domaine des faibles concentrations, l'extrapolation à l'humain des effets observés dans des études d'expérimentation animale, la qualité des données disponibles dans la littérature scientifique et les méthodes hétérogènes employées par les organismes proposant des VTR. Les valeurs de référence pour les PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, carbone suie et dioxyde d'azote reposent sur l'exploitation de données épidémiologiques récentes en population générale, ce qui réduit ces incertitudes. De plus, dans la présente expertise, une transformation des VTR a permis de mettre en cohérence les paramètres d'application de la valeur (fréquence et durée d'exposition) et les scénarios d'exposition déterminés spécifiquement dans le cadre de l'évaluation des risques sanitaires pour une population des travailleurs.

Pour évaluer les expositions, des données de concentrations ambiantes ont été exploitées au lieu de mesures de l'exposition individuelle, permettant d'inclure davantage de polluants et de situations d'exposition et d'offrir une représentativité spatiale beaucoup plus large. Cette représentativité reste néanmoins limitée pour certains polluants en raison du faible nombre de données ou stations de mesures disponibles (particules ultrafines, HAP, métaux et ammoniac). De plus, la prise en compte des jours et horaires typiquement travaillés (de 7h à 19h, du lundi au vendredi) n'a pas pu être appliquée pour certains des polluants, ce qui induit probablement une sous-estimation des expositions pendant les heures de travail en journée pour ces polluants en particulier (anthracène, baryum, éthylbenzène, benzène, fluoranthène, ammoniac, particules ultrafines, phénanthrène et pyrène). Néanmoins, pour les polluants réglementés (NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>) et le carbone suie, la quantité et la répartition des données collectées augmentent la fiabilité des estimations des expositions et des résultats.

Les données de concentrations ambiantes proviennent majoritairement de zones urbaines et périurbaines, ne reflétant pas toutes les situations d'exposition. Cependant, il est probable que les activités des travailleurs exposés à la pollution atmosphérique se trouvent principalement dans ces zones.

Concernant l'exposition dans l'habitacle, les estimations sont basées sur des concentrations extérieures et des facteurs de conversion spécifiques à chaque polluant ou famille de polluants. La confiance dans ces facteurs varie : elle est relativement élevée pour le NO<sub>2</sub>, les PM<sub>2,5</sub> et le carbone suie mais plus limitée pour les autres polluants. De manière générale, il est admis que les concentrations de ces polluants dans les habitacles sont supérieures à celles en extérieur.

La présente évaluation quantitative des risques cible les polluants issus du trafic routier et mesurés à proximité des voies de circulation. Elle ne couvre pas les autres sources d'émissions potentielles. En l'occurrence, elle ne considère pas les polluants émis par les

activités des travailleurs et ne permet donc pas d'estimer les contributions de chacune de ces sources d'émissions (activité vs. trafic routier) aux expositions ou aux risques. Par exemple, les activités de construction routière sont susceptibles d'exposer les travailleurs aux émissions de HAP issus à la fois des produits bitumineux et du trafic routier. Certains métiers exposant aux émissions issues des produits bitumineux ou aux poussières sans effet spécifique ont fait l'objet d'études ou d'expertises spécifiques (Anses 2013, 2019d). Le groupe de travail note que l'évaluation de la contribution des sources est une question complexe, qui nécessite encore des recherches.

Les métiers et activités documentés dans la présente expertise (Chapitre 4) ne couvrent pas l'ensemble des travailleurs exposés à la pollution issue du trafic routier, bien que l'analyse exploite des circonstances d'exposition généralisables. La définition de plusieurs scénarios au sein de ces circonstances permet de couvrir une partie des incertitudes en tenant compte de la variabilité des expositions. Enfin, un seul scénario a été défini pour la population de référence ce qui ne permet pas d'indication de variabilité ou d'incertitude pour cette population mais facilite l'exercice de comparaison à la population des travailleurs. Les expositions de la population de référence se basent sur des concentrations ambiantes de fond en France. Cette approche est couramment utilisée dans les études épidémiologiques pour décrire l'exposition environnementale à la pollution atmosphérique en population générale et a été retenue pour la comparaison à une population de travailleurs professionnellement exposés.

Les travailleurs intervenant dans les tunnels ne sont pas inclus dans les circonstances d'exposition définies. Les niveaux de concentrations atteints dans ces environnements sont bien supérieurs à ceux observés en air ambiant, comme documenté par le Centre d'Etude des Tunnels (CETU 2022). Les données concernant les temps passés dans ces environnements étaient en outre limitées (Chapitre 4).

Le périmètre de l'évaluation des risques est limité aux substances pour lesquelles des données de concentration étaient disponibles et adaptées à la comparaison avec des valeurs de référence. Ainsi, pour les particules ultrafines et les ions nitrates, le risque n'a pas pu être caractérisé car aucune valeur de référence n'était disponible. La littérature épidémiologique examinant les effets sanitaires des particules ultrafines est croissante (Anses 2019b) et pourrait être exploitée, dans une autre analyse, pour caractériser les risques pour les travailleurs exposés professionnellement.

Pour l'antimoine, les valeurs de référence recensées concernaient des formes non élémentaires très spécifiques (dioxyde de tri-antimoine) et connues pour leur toxicité, non comparables aux mesures élémentaires recueillies dans la présente expertise, ce qui induirait une surestimation potentielle des risques calculés. Pour l'ensemble des métaux, le groupe de travail a identifié quelques sources documentaires (Annexe 9) décrivant les formes et spéciations spécifiquement émises par le trafic routier, sans permettre de conclure fermement.

L'approche d'évaluation quantitative des risques mise en œuvre considère les polluants issus du trafic routier individuellement. Cette approche pragmatique ne reflète pas la réalité des expositions à la pollution atmosphérique et peut potentiellement entraîner une sur- ou sous-estimation des expositions et des risques. Des preuves d'interaction entre différents polluants ou nuisances existent dans la littérature, par exemple en lien avec le bruit (Anses 2018d). Il convient néanmoins de rappeler que les concentrations en masse de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> intègrent une large gamme d'aérosols présents dans l'air ; de même, le carbone suie représente une fraction carbonée des particules plus directement liée aux émissions à l'échappement et est associé à diverses substances (composés organiques, métaux, ...). En ce sens, certains



résultats présentés ici incluent donc des substances en mélange, tant pour les estimations des expositions que pour la caractérisation des risques.

Le biais résultant de cette approche individuelle est attendu non différentiel, c'est-à-dire que l'erreur d'estimation de l'exposition ou du risque ne diffère pas entre les deux populations examinées (de travailleurs et de référence). Ainsi, la comparaison des résultats entre ces deux populations, en termes de surexpositions ou d'excès de risque, reste possible et pertinente.

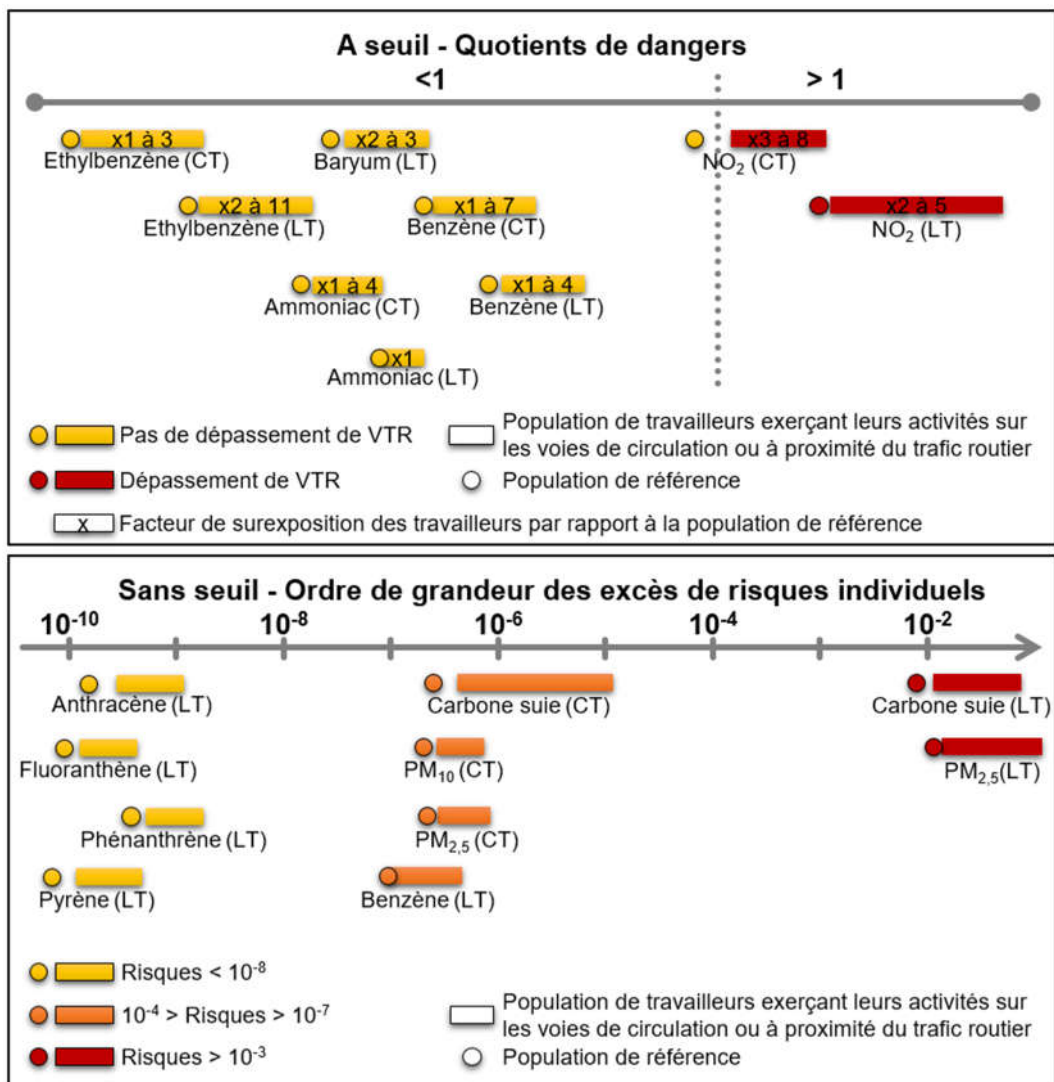
## 6 Conclusions et recommandations

### 6.1 Conclusions

- En réponse à la question de l'établissement d'un « excès de risque supplémentaire lié à l'exposition au trafic routier pour les travailleurs par rapport à la population générale »

La pollution issue du trafic routier pendant le temps de travail induit des excès de risques sanitaires chez les travailleurs exposés (i.e. ayant des activités sur les voies de circulation ou en proximité de trafic) en comparaison avec une population de référence, non exposée professionnellement. Dans le cadre de l'expertise, les activités professionnelles impliquant la présence dans un habitacle de véhicule circulant dans le flux du trafic sont associées aux excès de risques les plus élevés, en lien avec une surexposition plus importante.

Une représentation synthétique des ordres de grandeur des quotients de danger (pour les polluants avec effets « à seuil ») et des excès de risque individuel (pour les polluants avec effets « sans seuil ») est proposée dans la Figure 7.



CT : court terme ; LT : long terme ; NO<sub>2</sub> : dioxyde d'azote ; PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> : particules avec un diamètre aérodynamique médian < 10 µm et < 2,5 µm, respectivement ; VTR : valeur toxicologique de référence.

Figure 7. Synthèse des quotients de danger (QD) et des excès de risque individuel (ERI) obtenus dans la présente expertise

Pour les effets sans seuil, les niveaux de risque habituellement considérés comme acceptables dans l'approche d'évaluation des risques pour les substances chimiques, sont  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  ou  $10^{-6}$ . Pour les particules fines de l'air ambiant ( $PM_{2,5}$ ), les concentrations les plus faibles observées en France sont associées en population générale à un niveau d'excès de risque de l'ordre de  $10^{-3}$  pour le cancer du poumon et le petit poids à la naissance<sup>27</sup> et de l'ordre de  $10^{-2}$  pour l'asthme et les décès anticipés (Anses 2024a).

Pour les effets à seuil, les niveaux de risque sont habituellement considérés comme acceptables lorsque l'exposition ne dépasse pas la valeur sanitaire de référence de la substance chimique considérée et donc que le quotient de danger est inférieur à 1.

### **Pour les polluants avec effets « sans seuil », le CES et le GT concluent que :**

Les risques de décès anticipés attribuables aux **expositions à long terme aux  $PM_{2,5}$  et au carbone suie issus du trafic routier** sont supérieurs chez les travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier, en comparaison à ceux observés dans la population de référence. Les risques pour les travailleurs sont de  $11.10^{-3}$  à  $120.10^{-3}$  ce qui représente 11 à 120 cas supplémentaires pour 1 000 personnes exposées professionnellement<sup>28</sup> par rapport aux cas observés dans la population de référence.

Les risques d'hospitalisations pour causes cardiovasculaires ou cardiaques attribuables aux **expositions journalières aux  $PM_{10}$ , aux  $PM_{2,5}$  et au carbone suie issus du trafic routier** sont supérieurs chez les travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier, en comparaison à ceux observés dans la population de référence. Les risques calculés pour les travailleurs sont de  $0,3.10^{-6}$  à  $18.10^{-6}$ .

Les risques attribuables **aux expositions à long terme à quatre HAP en phase particulière (anthracène, fluoranthène, phénanthrène, pyrène) et au benzène issus du trafic routier** sont supérieurs chez les travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier, en comparaison à ceux observés dans la population de référence. Pour ces deux populations (travailleurs et référence), les risques de cancers des voies respiratoires supérieures (HAP) et de leucémies myéloïdes aiguës (benzène) varient de  $1,2.10^{-10}$  à  $8,0.10^{-7}$  selon le polluant.

### **Pour les polluants avec effets « à seuil », le CES et le GT concluent que :**

Chez les travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier, **l'exposition à court terme au dioxyde d'azote issu du trafic routier** dépasse la valeur sanitaire de référence. Des décès toutes causes sont ainsi susceptibles de survenir de façon anticipée en lien avec l'exposition professionnelle. Il n'y a pas de dépassement de la valeur sanitaire de référence dans la population de référence, non exposée professionnellement. L'exposition des travailleurs est toujours supérieure, d'un facteur 3 à 8 selon les scénarios<sup>28</sup>, à celle de la population de référence.

Dans les deux populations (travailleurs et référence), **l'exposition à long terme au dioxyde d'azote issu du trafic routier** dépasse la valeur sanitaire de référence ce qui signifie que des décès toutes causes sont susceptibles de survenir de façon anticipée. L'exposition des travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic est

<sup>27</sup> Résultant de l'exposition de la mère pendant la grossesse.

<sup>28</sup> Dans la présente expertise, les scénarios d'exposition professionnelle prennent en compte l'exposition pendant le temps de travail (de 7 à 9 heures journalières) et sur le nombre d'années de carrière concerné (de 10 ou 24 ans pour les scénarios atypiques à 40 ans pour les scénarios standards).

toujours supérieure, d'un facteur 2 à 5 selon les scénarios<sup>28</sup>, à celle de la population de référence.

**L'exposition à court terme et à long terme à l'éthylbenzène, à l'ammoniac, à l'antimoine et au baryum** chez les travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier est toujours supérieure, jusqu'à un facteur 11 selon les polluants et les scénarios<sup>28</sup>, à celle de la population de référence. Cependant, au sein des deux populations (travailleurs et référence), l'exposition estimée à ces polluants ne dépasse pas les valeurs de référence.

Le CES et le GT rappellent que pour le dioxyde d'azote, les PM<sub>10</sub>, les PM<sub>2,5</sub> et le carbone suie, la population générale est déjà exposée à des niveaux de pollution induisant des risques sanitaires élevés à court terme et à long terme. Les excès de risque observés chez les travailleurs exposés professionnellement à la pollution atmosphérique issue du trafic routier viennent s'ajouter à ces risques.

Il est à noter que les incertitudes ne sont pas quantifiées et doivent être considérées dans l'interprétation. Les incertitudes principales concernent l'identification et la caractérisation des dangers (sélection des polluants fondée sur les données disponibles, incertitudes intrinsèques à l'élaboration des VTR) ainsi que l'estimation des expositions (définition de la population d'étude, utilisation de données de concentrations ambiantes plutôt que des mesures d'exposition individuelle, choix des paramètres d'entrée des scénarios d'exposition). Ces incertitudes sont moindres pour les PM<sub>10</sub>, les PM<sub>2,5</sub>, le carbone suie et le dioxyde d'azote, ce qui améliore la confiance portée dans les résultats pour ces polluants.

■ En réponse à la question de l'identification « des déterminants de l'exposition [...] et leurs importances relatives »

Une description qualitative de certains déterminants (liés aux caractéristiques du trafic routier, à l'environnement de travail et à l'activité réalisée) impactant l'exposition a été réalisée. Elle permet une compréhension plus complète des situations d'exposition pouvant affecter les travailleurs professionnellement exposés à la pollution issue du trafic routier (i.e. ayant des activités sur les voies de circulation ou en proximité de trafic).

L'estimation des expositions a été réalisée pour trois circonstances d'exposition professionnelle (extérieur majoritaire, habitacle majoritaire et mixte) incluant les déterminants suivants :

- le fait d'exercer une activité professionnelle en extérieur ou en habitacle ;
- le temps de travail et la durée de vie professionnelle ;
- les niveaux de concentrations des polluants.

Les estimations combinent les caractéristiques des activités professionnelles et les concentrations mesurées dans l'air extérieur. L'utilisation de ces concentrations plutôt que de données d'exposition individuelle permet de prendre en compte davantage de polluants et de situations d'exposition.

Travailler dans l'habitacle d'un véhicule est associé à des niveaux d'exposition plus importants aux polluants issus du trafic routier. Les expositions dans les habitacles ont été estimées à partir des concentrations extérieures et de facteurs de conversion, considérés comme plus

fiables pour le dioxyde d'azote, les PM<sub>10</sub>, les PM<sub>2,5</sub> et le carbone suie que pour les autres polluants.

Le scénario standard défini dans le cadre de cette expertise considère une durée de travail moyenne de 7 heures par jour et 5 jours par semaine sur 40 ans, ce qui permet de l'extrapoler à diverses situations professionnelles. Les scénarios atypiques explorés (livreurs de plateformes et conducteurs de taxis) présentent des temps de travail annuels 1,5 à 2 fois plus importants, sur une durée plus courte d'exercice de ces professions.

Les centiles 95 des concentrations des polluants à proximité du trafic routier sont jusqu'à 5 fois plus élevés que les médianes pour les polluants considérés dans la caractérisation des risques, illustrant ainsi la variabilité des concentrations auxquelles les travailleurs peuvent être confrontés pendant leur temps de travail.

Le CES et le GT soulignent que d'autres déterminants peuvent constituer des facteurs majorant l'exposition : les caractéristiques du trafic routier, le travail dans des espaces confinés tels que les tunnels, et l'intensité de l'activité physique.

#### ■ Appréhension plus globale des risques professionnels.

Le CES et le GT rappellent que les travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier sont concernés par d'autres risques liés à l'activité ou aux environnements : accidents de la route, risques physiques (vibrations, bruit, contraintes thermiques, contraintes posturales...), risques chimiques (émissions liées aux tâches ou aux équipements : gaz d'échappement, poussières...), risques biologiques (pollens, virus, bactéries...) et risques psychosociaux (stress, violences...).

Enfin, le CES et le GT indiquent que parmi les travailleurs exposés professionnellement à la pollution atmosphérique, certains sont particulièrement vulnérables (par exemple, les travailleurs des plateformes de livraison), notamment en raison de leur statut d'indépendants avec un suivi de santé et des mesures de prévention moins systématiques voire inexistantes, auquel peut s'ajouter une double précarité, sanitaire et économique.

## 6.2 Recommandations

#### ■ Politiques publiques et environnementales

Le CES et le GT rappellent l'importance de renforcer les politiques publiques et environnementales d'amélioration de la qualité de l'air afin de mieux protéger la population des effets sanitaires de la pollution atmosphérique, notamment celle issue du trafic routier. Le CES et le GT insistent sur l'importance d'agir sur les sources polluantes.

#### ■ Actions de prévention

Le CES et le GT rappellent que l'employeur est dans l'obligation de prévenir tous les risques présents sur le lieu de travail, incluant la pollution atmosphérique générée ou non par l'activité professionnelle.

Quand une exposition professionnelle à la pollution issue du trafic routier est identifiée, le CES et le GT recommandent :

- aux employeurs, d'intégrer cette pollution dans leur démarche d'évaluation des risques, via le document unique d'évaluation des risques professionnels (DUERP) ;

- aux services de prévention et santé au travail d'intégrer cette pollution dans les fiches d'entreprises. Le CES et le GT soulignent l'importance d'intégrer les travailleurs indépendants à ces démarches considérant leur importante représentation dans certains métiers particulièrement concernés par la problématique de la pollution issue du trafic routier.

Afin de réduire les expositions professionnelles aux polluants atmosphériques issus du trafic routier, le CES et le GT recommandent la mise en œuvre d'actions telles que : éviter si possible le travail en heures de congestion, réduire autant que possible le temps passé sur les voies de circulation ou en proximité de trafic, utiliser des itinéraires alternatifs avec moins de trafic routier ou utiliser les pistes cyclables séparées à vélo.

Pour les situations de travail en habitacle, le CES et le GT recommandent de suivre les recommandations existantes de bonnes pratiques qui permettent de diminuer les expositions telles que : i) utiliser le mode recirculation d'air, vitres fermées, dans un embouteillage ou un tunnel, ii) maintenir un espace d'au moins une voiture derrière celle qui précède et iii) remplacer le filtre à air habitacle selon la préconisation du constructeur (Hachem *et al.* 2021; Mehel *et al.* 2019).

Afin d'appuyer l'identification de leviers d'actions complémentaires, une analyse qualitative des déterminants et facteurs majorant l'exposition est disponible dans la présente expertise.

#### ■ Suivi d'indicateurs pertinents

En l'état actuel des connaissances et au regard des résultats de l'évaluation des risques, **le CES et le GT recommandent le suivi des expositions des travailleurs au dioxyde d'azote et aux particules**. Le dioxyde d'azote semble être aujourd'hui la substance la plus appropriée en raison de sa spécificité vis-à-vis des émissions à l'échappement et de sa facilité de mesure. Les particules sont quant à elles moins spécifiques du trafic routier et émises par un nombre plus important de sources. Concernant le trafic routier, la mesure des particules couvre la pollution particulaire émise à l'échappement et hors échappement.

L'évaluation des risques s'est appuyée sur les concentrations de particules exprimées en PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> selon les conventions environnementales. Pour le suivi des expositions professionnelles, les concentrations sont mesurées selon les conventions inhalable, thoracique et alvéolaire. Le CES et le GT rappellent donc la nécessité de comparer les concentrations en particules mesurées selon ces différentes conventions (Anses 2023).

Les évolutions du parc automobile, des connaissances sur les effets sanitaires et des capacités de suivi en routine pourraient conduire à actualiser ces recommandations.

#### ■ Acquisition de connaissances et recherche

##### *Mieux caractériser les expositions*

Pour mieux connaître les métiers concernés par la problématique de la pollution atmosphérique dans le cadre de leurs activités professionnelles, le CES et le GT recommandent :

- i. un recensement des métiers et une caractérisation des populations (effectifs, âges, statuts socio-économiques...);
- ii. une évaluation des expositions individuelles ;
- i. une évaluation des expositions individuelles ;

- ii. une meilleure description des activités et des postes de travail, notamment la connaissance des budgets espace-temps-activité au regard des déterminants contextuels et individuels de l'exposition, et des situations « atypiques » d'exposition.

Concernant l'estimation des expositions, le CES et le GT recommandent de :

- compléter les métadonnées contextuelles des stations de mesures de la qualité de l'air, notamment celles décrivant les déterminants clés des concentrations et des expositions mentionnés précédemment tels que le volume du trafic, la densité de population ou la configuration des rues autour des stations.
- renforcer l'acquisition des données et des connaissances permettant d'évaluer l'exposition à la pollution liée à la présence sur les voies, en habitacle ou en extérieur (par exemple : à pied, à vélo ou à moto). Dans le cas de la conduite en habitacle, cela permettra de préciser les facteurs de conversion et donc les estimations de l'exposition. Cette recommandation intègre à la fois la réalisation de mesures (qui doivent être plus fréquentes en habitacle) et la comparaison de ces mesures à des stations fixes (trafic ou de fond).
- continuer le déploiement d'outils de modélisation et cartographie de la pollution atmosphérique à fine échelle spatiale et temporelle.

Le CES et le GT recommandent des développements méthodologiques concernant :

- la mesure des concentrations en air ambiant extérieur pour les polluants suivants : acétaldéhyde, acroléine, aluminium, étain et composés, propionaldéhyde et titane ;
- l'analyse de la forme ou de la spéciation des métaux émis par le trafic routier ;
- l'estimation de la contribution des sources à l'exposition totale tenant compte de l'activité et des émissions et concentrations de polluants.

#### *Mieux caractériser les risques sanitaires*

Le CES et le GT suggèrent de prendre en compte les expositions professionnelles à la pollution atmosphérique, en extérieur ou en habitacle, dans des études épidémiologiques de grande ampleur afin de confirmer les risques sanitaires attendus pour les travailleurs.

Le CES et le GT suggèrent le développement de valeurs de référence par inhalation pour les polluants n'en disposant pas encore tels que les particules ultrafines et les métaux, notamment en lien avec les formes retrouvées à l'émission à l'échappement ou hors échappement.

Le CES et le GT rappellent l'importance d'améliorer la prise en compte de la polyexposition dans la réalisation des évaluations de risques sanitaires pour les travailleurs et de poursuivre les développements méthodologiques en ce sens.



## 7 Bibliographie

- ADEME. 2014. *Impacts des limitations de vitesse sur la qualité de l'air, le climat, l'énergie et le bruit* Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe). <https://librairie.ademe.fr/mobilite-et-transport/3637-impacts-des-limitations-de-vitesse-sur-la-qualite-de-l-air-le-climat-l-energie-et-le-bruit.html>.
- ADEME. 2018. *Émissions de particules et de NOx par les véhicules routiers*. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) (France). <https://librairie.ademe.fr/air-et-bruit/1378-emissions-de-particules-et-de-nox-par-les-vehicules-routiers.html>.
- ADEME. 2022. *Emissions des véhicules routiers : particules hors échappement*. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) (France). <https://librairie.ademe.fr/air-et-bruit/5384-emissions-des-vehicules-routiers-les-particules-hors-echappement.html>.
- ADEME, I. Tapia-Villarreal, L. Moulin et A. Quéméner. 2020. *Mesures pour modifier le trafic routier en ville et qualité de l'air extérieur - Recherches bibliographiques et analyses*. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) (France). <https://librairie.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/4927-mesures-pour-modifier-le-traffic-routier-en-ville-et-qualite-de-l-air-exterieur.html>.
- Air Quality Expert Group. 2019. *Non-Exhaust Emissions from Road Traffic*. Department for Environment, Food and Rural Affairs; Scottish Government; Welsh Government; and Department of the Environment in Northern Ireland. [https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat09/1907101151\\_20190709\\_Non\\_Exhaust\\_Emissions\\_typeset\\_Final.pdf](https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat09/1907101151_20190709_Non_Exhaust_Emissions_typeset_Final.pdf).
- Amereih, S., T. Meisel, R. Scholger et W. Wegscheider. 2005. "Antimony speciation in soil samples along two Austrian motorways by HPLC-ID-ICP-MS." *Journal of Environmental Monitoring* 7 (12): 1200-1206. <https://doi.org/10.1039/B510321E>.
- Anses. 2010. *Activités professionnelles et qualité de l'air des parcs de stationnement couverts (n°2008-003)*. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Maisons-Alfort, France). <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR-Ra-Parking.pdf>.
- Anses. 2012. *Sélection des polluants à prendre en compte dans les évaluations des risques sanitaires réalisées dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières (n°2010-SA-0283)*. Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'aliment, de l'environnement et du travail (Maisons-Alfort). <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2010sa0283Ra.pdf>.
- Anses. 2013. *Évaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation professionnelle des produits bitumineux et de leurs additifs (n°2008-SA-0410)*. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) (Maison-Alfort, France). <https://www.anses.fr/en/system/files/CHIM2008sa0410Ra.pdf>.
- Anses. 2015. *Pollution chimique de l'air des enceintes de transports souterrains et risques sanitaires associés chez les travailleurs (n°2011-SA-0265)*. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) (Maisons-Alfort, France).
- Anses. 2018a. *Polluants "émergents" dans l'air ambiant - Identification, catégorisation et hiérarchisation de polluants actuellement non réglementés pour la surveillance de la qualité de l'air (n°2015-SA-0216)*. Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) (Maisons-Alfort). <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2015SA0216Ra.pdf>.
- Anses. 2018b. *Mise à jour de valeurs guides de qualité de l'air intérieur - Formaldéhyde (n°2017-SA-0041)*. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de

- l'environnement et du travail (Anses) (Maisons-Alfort).  
<https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2017SA0041Ra.pdf>.
- Anses. 2018c. *Note d'appui scientifique et technique concernant le projet de révision de la note méthodologique de 2005 relative au volet « air et santé » des études d'impact des projets d'infrastructures routières (n°2018-SA-0135)*. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) (Maisons-Alfort, France).
- Anses. 2018d. *Plan Santé au Travail 2016-2020 : Action 1.11 Amélioration et prise en compte de la polyexposition - Recensement des principales initiatives institutionnelles sur la polyexposition en santé au travail* Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Maisons-Alfort, France).  
[https://www.anses.fr/fr/system/files/PST3\\_Etatdeslieux\\_Polyexposition\\_2.pdf](https://www.anses.fr/fr/system/files/PST3_Etatdeslieux_Polyexposition_2.pdf).
- Anses. 2019a. *Particules de l'air ambiant extérieur - Impact sur la pollution atmosphérique des technologies et de la composition du parc de véhicules automobiles circulant en France (n°2014-SA-0156)*. Agence National de Sécurité Sanitaire (Maisons-Alfort).  
<https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2014SA0156Ra-Emission.pdf>.
- Anses. 2019b. *Particules de l'air ambiant extérieur - Effets sanitaires des particules de l'air ambiant extérieur selon les composés, les sources et la granulométrie (n°2014-SA-0156)*. Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Maisons-Alfort). <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2014SA0156Ra-Sante.pdf>.
- Anses. 2019c. *Valeurs toxicologiques de référence - Le dioxyde de titane sous forme nanoparticulaire (n°2017-SA-0162)*. Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) (Maisons-Alfort).  
<https://www.anses.fr/fr/system/files/VSR2017SA0162Ra.pdf>.
- Anses. 2019d. *Valeurs limites d'exposition en milieu professionnel - Les poussières dites sans effet spécifique (effets sanitaires) (n°2017-SA-0148)*. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) (Maisons-Alfort, France). <https://www.anses.fr/fr/system/files/VSR2017SA0148Ra.pdf>.
- Anses. 2023. *Fractions granulométriques : évaluation des expositions par inhalation d'aérosols (saisine n°2018-SA-0076)*. Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses).  
<https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2018SA0076Ra.pdf>.
- Anses. 2024a. *Valeurs Toxicologiques de Référence des particules de l'air ambiant extérieur - PM10 et PM2,5*. Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) (Maisons-Alfort, France).
- Anses. 2024b. *Valeurs toxicologiques de référence pour le carbone suie des particules de l'air ambiant*. Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) (Maisons-Alfort, France).
- ATSDR. 2005. *Toxicological profile for Zinc*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (Atlanta, Georgia, Etats-Unis).  
<https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp60.pdf>.
- ATSDR. 2008. *Toxicological profile for Aluminum*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service). <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp22.pdf>.
- BAuA. 2008. *Guide for the quantification of cancer risk figures after exposure to carcinogenic hazardous substances for establishing limit values at the workplace. Committee on Hazardous Substances (AGS)*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (Dortmund, Allemagne).  
<https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/Gd34e>.

- Beji, A. 2020. "Caractérisation physico-chimique des particules émises hors échappement par le trafic routier." Thèse de Doctorat, Mécanique, Energétique, Génie civil, Acoustique, Université Claude Bernard Lyon 1. <https://theses.hal.science/tel-03546512/>.
- Beji, A., K. Deboudt, B. Muresan, S. Khaldi, P. Flament, M. Fourmentin et L. Lumiere. 2023. "Physical and chemical characteristics of particles emitted by a passenger vehicle at the tire-road contact." *Chemosphere* 340: 139874. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139874>.
- Bel, G. et J. Rosell. 2013. "Effects of the 80km/h and variable speed limits on air pollution in the metropolitan area of barcelona." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 23: 90-97. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.04.005>.
- Belhocine, A. . 2012. "Thermomécanique des disques de freins - Application du Code de Calcul ANSYS v11.0." Thèse de Doctorat, Génie Mécanique, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf. <https://theses.hal.science/tel-00813255>.
- Bousiotis, D., F. D. Pope, D. C. S. Beddows, M. Dall'Osto, A. Massling, J. K. Nøjgaard, C. Nordstrøm, J. V. Niemi, H. Portin, T. Petäjä, N. Perez, A. Alastuey, X. Querol, G. Kouvarakis, N. Mihalopoulos, S. Vratolis, K. Eleftheriadis, A. Wiedensohler, K. Weinhold, M. Merkel, T. Tuch et R. M. Harrison. 2021. "A phenomenology of new particle formation (NPF) at 13 European sites." *Atmos. Chem. Phys.* 21 (15): 11905-11925. <https://doi.org/10.5194/acp-21-11905-2021>.
- Calas, A., G. Uzu, J.-L. Besombes, J. M. F. Martins, M. Redaelli, S. Weber, A. Charron, A. Albinet, F. Chevrier, G. Brulfert, B. Mesbah, O. Favez et J.-L. Jaffrezo. 2019. Seasonal Variations and Chemical Predictors of Oxidative Potential (OP) of Particulate Matter (PM), for Seven Urban French Sites. *Atmosphere* 10 (11). Consulté. <https://doi.org/10.3390/atmos10110698>.
- Calas, A., G. Uzu, F. J. Kelly, S. Houdier, J. M. F. Martins, F. Thomas, F. Molton, A. Charron, C. Dunster, A. Oliete, V. Jacob, J. L. Besombes, F. Chevrier et J. L. Jaffrezo. 2018. "Comparison between five acellular oxidative potential measurement assays performed with detailed chemistry on PM10 samples from the city of Chamonix (France)." *Atmos. Chem. Phys.* 18 (11): 7863-7875. <https://doi.org/10.5194/acp-18-7863-2018>.
- Casotti Rienda, I. et C. A. Alves. 2021. "Road dust resuspension: A review." *Atmospheric Research* 261: 105740. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105740>.
- Cerema. 2018. *Révision de la note méthodologique air et santé. Polluants à prendre en compte dans l'ERS. Mise à jour du rapport de Juin 2013*. Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cérema).
- Cerema. 2019. *Guide méthodologique sur le volet « air et santé » des études d'impact routières*. Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema). <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/guide-methodologique-volet-air-sante-etudes-impact-routieres>.
- Cerema. 2019b. *Evaluation des concentrations des polluants atmosphériques autour d'une infrastructure routière*. Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema). <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/28741/evaluation-des-concentrations-des-polluants-atmospheriques-autour-d-une-infrastructure-routiere?lg=fr-FR>.
- Cerema. 2021. *Emissions routières des polluants atmosphériques - courbes et facteurs d'influence*. Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema). <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/20326/emissions-routieres-des-polluants-atmospheriques-courbes-et-facteurs-d-influence>.

- Cerema. 2024. CopCerema - outil pour le calcul des émissions polluantes des véhicules automobiles. édité par l'environnement Centre d'études et d'expertise sur les risques, la mobilité et l'aménagement (Cerema): <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/applications/copcerema>.
- Certu-Cete de Lyon. 2013. *Polluants à étudier dans les volets Air et Santé des dossiers d'étude d'impact d'infrastructures routières - Analyse de la liste de polluants proposés par l'Anses sur la base de critères complémentaires techniques et opérationnels*. Centre d'Études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (Certu) et Centres d'Études Techniques de l'État (Cete).
- CETU. 2022. *Campagne d'évaluation dans le tunnel du Mont Blanc - été 2021 (OPAGAZ Fives-Pillard)*. Centre d'Études des Tunnels (CETU) (Bron, France).
- Charron, A. et R. M. Harrison. 2003. "Primary particle formation from vehicle emissions during exhaust dilution in the roadside atmosphere." *Atmos. Environ.* 37 (29): 4109-4119. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(03\)00510-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00510-7).
- Charron, A. et R. M. Harrison. 2005. "Fine (PM<sub>2.5</sub>) and Coarse (PM<sub>2.5-10</sub>) Particulate Matter on A Heavily Trafficked London Highway: Sources and Processes." *Environmental Science & Technology* 39 (20): 7768-7776. <https://doi.org/10.1021/es050462i>.
- Charron, A., L. Polo-Rehn, J.-L. Besombes, B. Golly, C. Buisson, H. Chanut, N. Marchand, G. Guillaud et J.-L. Jaffrezo. 2019. "Identification and quantification of particulate tracers of exhaust and non-exhaust vehicle emissions." *Atmos. Chem. Phys.* 19: 5187–5207. <https://doi.org/10.5194/acp-19-5187-2019>.
- Chen, J. et G. Hoek. 2020. "Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis." *Environ. Int.* 143: 105974. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105974>.
- CIRC. 2015. *Outdoor Air Pollution - IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans - Volume 109*. CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer) (Lyon, France). <https://publications.iarc.fr/538>.
- Citepa. 2017. *Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France – Format Secten*. Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique (Citepa). <https://www.citepa.org/fr/secten/>.
- Citepa. 2022. *Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France – Format Secten*. Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique (Citepa). <https://www.citepa.org/fr/secten/>.
- Citepa. 2023. *Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques. Bilan des émissions en France de 1990 à 2022. Rapport Secten éd. 2023*. Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique (Citepa). <https://www.citepa.org/fr/secten/>.
- Commission Européenne, 2022, "La Commission propose de nouvelles normes Euro 7 pour réduire les émissions polluantes des véhicules et améliorer la qualité de l'air," [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/ip\\_22\\_6495](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/ip_22_6495).
- Copert. 2024. Computer model to calculate emissions from road traffic.
- Couvidat, F., A. Albinet, M.-G. Lanzaframe, Y. Liu, J.-L. André et B. Bessagnet. 2022. *Projet EVORA : Détermination des émissions d'espèces semi-volatiles organiques par classes de volatilité - impact sur la modélisation de la qualité de l'air*. <https://librairie.ademe.fr/air-et-bruit/5431-determination-des-emissions-d-especes-semi-volatiles-organiques-par-classes-de-volatilite.html>.
- Ćwiklak, K., J. S. Pastuszka et W. Rogula-Kozłowska. 2009. "Influence of Traffic on Particulate-Matter Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Atmosphere of Zabrze, Poland." *Pol. J. Environ. Stud.* 18 (4): 579-585.
- Daellenbach, K. R., GaG.ëlle Uzu, J. Jiang, L.-E. Cassagnes, Z. Leni, A. Vlachou, G. Stefenelli, F. Canonaco, S. Weber, A. Segers, J. J. P. Kuenen, M. Schaap, O. Favez, . Albinet, S. Aksoyoglu, J. Dommen, UU.rs Baltensperger, M. Geiser, I. El Haddad, J.-L. Jaffrezo et



- A. S. H. Prévôt. 2020. "Sources of particulate-matter air pollution and its oxidative potential in Europe." *Nature* 587 (7834): 414-419. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2902-8>.
- Damayanti, S., R. M. Harrison, F. D. Pope et D. C. S. Beddows. 2023. "Limited impact of diesel particle filters on road traffic emissions of ultrafine particles." *Environ. Int.* 174: 107888. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107888>.
- Datalab. 2022. *Données sociales du transport routier de marchandises - édition 2022*. Service des données et études statistiques (SDES). <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/donnees-sociales-transport-routier-marchandises-2022/pdf/donnees-sociales-du-transport-routier-de-marchandises-edition-2022.pdf>.
- De Nunzio, G., D. Guttierrez, M. Laraki, D. Piga, B. Ribstein et L. Thibault. 2020. *Rapport final du projet AIRMES (AIR : Modélisation des Emissions et Sensibilisation)*. <https://bibliothèque.ademe.fr/4813-air-modelisation-des-emissions-et-sensibilisation-projet-airmes.html>.
- DeWitt, H. L., S. Hellebust, B. Temime-Roussel, S. Ravier, L. Polo, V. Jacob, C. Buisson, A. Charron, M. André, A. Pasquier, J. L. Besombes, J. L. Jaffrezo, H. Wortham et N. Marchand. 2015. "Near-highway aerosol and gas-phase measurements in a high-diesel environment." *Atmos. Chem. Phys.* 15 (8): 4373-4387. <https://doi.org/10.5194/acp-15-4373-2015>.
- Dor, F., C. Daniau, P. Empereur Bissonnet, D. Zmirou, N. Bonvallot, C. Duboudin, S. Pontet, D. Bard, P. Glorennec, M. Legeas, J.-L. Volatier, M. Cornu, C. Boudet, D. Laurier, O. Catelinois, J.-M. Mur, D. Guyonnet et M. Hours. 2007. *Estimation de l'impact sanitaire d'une pollution environnementale et évaluation quantitative des risques sanitaires*. Institut National de Veille Sanitaire (InVS) et Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail (Afsset). <https://www.santepubliquefrance.fr/docs/estimation-de-l-impact-sanitaire-d-une-pollution-environnementale-et-evaluation-quantitative-des-risques-sanitaires>.
- Dousova, B., M. Lhotka, F. Buzek, B. Cejkova, I. Jackova, V. Bednar et P. Hajek. 2020. "Environmental interaction of antimony and arsenic near busy traffic nodes." *Science of The Total Environment* 702: 134642. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134642>.
- Easter, R. C. et L. K. Peters. 1994. "Binary Homogeneous Nucleation: Temperature and Relative Humidity Fluctuations, Nonlinearity, and Aspects of New Particle Production in the Atmosphere." *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 33 (7): 775-784. [https://doi.org/https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1994\)033<0775:BHNTAR>2.0.CO;2](https://doi.org/https://doi.org/10.1175/1520-0450(1994)033<0775:BHNTAR>2.0.CO;2).
- ECHA. 2012. *Guidance on information requirements and chemical safety assessment - Chapter R.8: Characterisation of dose [concentration]-response for human health (ECHA-2010-G-19-EN)*. European Chemicals Agency (ECHA) (Helsinki, Finland). [https://echa.europa.eu/documents/10162/13632/information\\_requirements\\_r8\\_en.pdf/e153243a-03f0-44c5-8808-88af66223258](https://echa.europa.eu/documents/10162/13632/information_requirements_r8_en.pdf/e153243a-03f0-44c5-8808-88af66223258).
- El Haddad, I., N. Marchand, J. Dron, B. Temime-Roussel, E. Quivet, H. Wortham, J. L. Jaffrezo, C. Baduel, D., J. L. Besombes et G. Gille. 2009. "Comprehensive primary particulate organic characterization of vehicular exhaust emissions in France." *Atmos. Environ.* 43 (39): 6190-6198. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.09.001>.
- Faber, J., K. Brodzik, A. Golda-Kopek, D. Lomankiewicz, J. Nowak et A. Swiatek. 2014. "Comparison of air pollution by VOCs inside de cabins of new vehicles." *Environ. Nat. Resour.* 4 (3): 155-165. <https://doi.org/10.5539/enrr.v4n3p155>.
- Fallah Shorshani, M., C. Seigneur, L. Polo Rehn, H. Chanut, Y. Pellan, J.-L. Jaffrezo, A. Charron et M. André. 2015. "Atmospheric dispersion modeling near a roadway under

- calm meteorological conditions." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 34: 137-154. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.10.013>.
- Font, A., T. Baker, I. S. Mudway, E. Purdie, C. Dunster et G. W. Fuller. 2014. "Degradation in urban air quality from construction activity and increased traffic arising from a road widening scheme." *Science of The Total Environment* 497-498: 123-132. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.07.060>.
- Fortoul, T. I., V. Rodriguez Lara, C. I. Falcón-Rodríguez, N. López-Valdes, M. Ustarroz-Cano et L. F. Montaña. 2009. "Chapter 1 - Traffic-Related Air Pollution." Dans *Traffic Related Air Pollution and Internal Combustion Engines*, 1-28. : Nova Publishers.
- Fortoul, T. I., M. Rojas-Lemus, V. Rodriguez-Lara, A. Gonzalez-Villalva, M. Ustarroz-Cano, G. Cano-Gutierrez, S. E. Gonzalez-Rendon, L. F. Montaña et M. Altamirano-Lozano. 2014. "Overview of environmental and occupational vanadium exposure and associated health outcomes: An article based on a presentation at the 8th International Symposium on Vanadium Chemistry, Biological Chemistry, and Toxicology, Washington DC, 2012." *Journal of Immunotoxicology* 11 (1): 13-18. <https://doi.org/10.3109/1547691X.2013.789940>.
- Fussell, J. C., M. Franklin, D. C. Green, M. Gustafsson, R. M. Harrison, W. Hicks, F. J. Kelly, F. Kishta, M. R. Miller, I. S. Mudway, F. Oroumijeh, L. Selley, M. Wang et Y. Zhu. 2022. "A Review of Road Traffic-Derived Non-Exhaust Particles: Emissions, Physicochemical Characteristics, Health Risks, and Mitigation Measures." *Environ. Sci. Technol.* 56 (11): 6813-6835. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c01072>.
- Garnier, R., A. Mathieu-Huart, S. Ronga-Pezeret, E. Nouyrigat, P. Benoit, J.-P. Goullé, C. Granon, J. Manel, N. Manouchehri, P. Nisse, J.-C. Normand, A. Roulet, F. Simon, P. Gabach et C. Tournoud. 2020. "Exposition de la population française à l'arsenic inorganique. Identification de valeurs toxicologiques de référence." *Toxicologie Analytique et Clinique* 32 (3): 152-193. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.toxac.2020.05.004>.
- Gelb, J. et P. Apparicio. 2021. "Cyclists' exposure to atmospheric and noise pollution: a systematic literature review." *Transport Reviews* 41 (6): 742-765. <https://doi.org/10.1080/01441647.2021.1895361>.
- Gianelle, V., C. Colombi, S. Caserini, S. Ozgen, S. Galante, A. Marongiu et G. Lanzani. 2013. "Benzo(a)pyrene air concentrations and emission inventory in Lombardy region, Italy." *Atmos. Pollut. Res.* 4 (3): 257-266. <https://doi.org/https://doi.org/10.5094/APR.2013.028>.
- Grigoratos, T. et G. Martini. 2015. "Brake wear particle emissions: a review." *Environ Sci Pollut Res* 22 (4): 2491-2504. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3696-8>.
- Guerreiro, C. B. B., J. Horálek, F. de Leeuw et F. Couvidat. 2016. "Benzo(a)pyrene in Europe: Ambient air concentrations, population exposure and health effects." *Environ. Pollut.* 214: 657-667. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.04.081>.
- Hachem, M., M. Loizeau, N. Saleh, I. Momas et L. Bensefa-Colas. 2021. "Short-term association of in-vehicle ultrafine particles and black carbon concentrations with respiratory health in Parisian taxi drivers." *Environ. Int.* 147: 106346. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106346>.
- Harrison, R. M., J. Allan, D. Carruthers, M. R. Heal, A. C. Lewis, B. Marnier, T. Murrells et A. Williams. 2021. "Non-exhaust vehicle emissions of particulate matter and VOC from road traffic: A review." *Atmos. Environ.* 262: 118592. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118592>.
- HBEFA. 2022. *The Handbook of Emission Factors for Road Transport*. INFRAS, . <https://www.hbefa.net/>.
- HEI panel. 2010. *Traffic-Related Air Pollution: A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure, and Health Effects - Special Report 17*. Health Effects Institute (HEI)

- (Boston, MA). <https://www.healtheffects.org/publication/traffic-related-air-pollution-critical-review-literature-emissions-exposure-and-health>.
- HEI panel. 2022. *Systematic Review and Meta-analysis of Selected Health Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution - Special Report 23* Health Effects Institute (HEI) (Boston, MA). <https://www.healtheffects.org/publication/systematic-review-and-meta-analysis-selected-health-effects-long-term-exposure-traffic>.
- Hulskotte, J. H. J., G. D. Roskam et H. A. C. Denier van der Gon. 2014. "Elemental composition of current automotive braking materials and derived air emission factors." *Atmos. Environ.* 99: 436-445. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.10.007>.
- Husson, J. F. , L. Aïchi, M. Bourquin, J. Chiron, E. Didier, F. Fortassin, L. Hervé, F. Keller, A. Archimbaud, G. César, F. Grosdidier, C. Hummel, L. Nègre, Y. Pozzo di Borgo, C. Revet, N. Tocqueville et M. Vincent. 2015. *RAPPORT de la commission d'enquête sur le coût économique et financier de la pollution de l'air*. <https://www.senat.fr/rap/r14-610-1/r14-610-1.html>.
- Ineris. 2017. *Projet QABINE - Qualité de l'air dans les habitacles en déplacement*. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (Ademe). <https://librairie.ademe.fr/air-et-bruit/1546-cortea-2015-projet-qabine-qualite-de-l-air-dans-les-habitacles-en-deplacement.html>.
- Ineris. 2021. *Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires - démarche intégrée pour la gestion des émissions de substances chimiques pour les installations classées (deuxième édition)*. Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris). <https://www.ineris.fr/fr/evaluation-etat-milieux-risques-sanitaires>.
- INRS. 2023. "Dossier - Risques routiers : démarche de prévention." Institut national de recherche et de sécurité (INRS). Dernière mise à jour 19 avril 2023. Consulté le 29 juillet 2024. <https://www.inrs.fr/risques/routiers/demarche-prevention.html>.
- Kittelson, D. B. 1998. "Engines and nanoparticles: a review." *J. Aerosol Sci.* 29 (5): 575-588. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0021-8502\(97\)10037-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0021-8502(97)10037-4).
- Knibbs, L. D., T. Cole-Hunter et L. Morawska. 2011. "A review of commuter exposure to ultrafine particles and its health effects." *Atmos. Environ.* 45 (16): 2611-2622. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.02.065>.
- Kukutschová, J., P. Moravec, V. Tomášek, V. Matějka, J. Smolík, J. Schwarz, J. Seidlerová, K. Šafářová et P. Filip. 2011. "On airborne nano/micro-sized wear particles released from low-metallic automotive brakes." *Environmental Pollution* 159 (4): 998-1006. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.11.036>.
- Laraki, M., M. Q. Nguyen, G. Sabiron et L. Thibault. 2022. *Impacts de la voirie sur les émissions, la sécurité et le bruit. AACT-AIR 2019 : REVEAL, Réduction des émissions de polluants et efficacité environnementale des aménagements de voirie lyonnais*. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe). <https://librairie.ademe.fr/mobilite-et-transport/5468-impacts-de-la-voirie-sur-les-emissions-la-securite-et-le-bruit-reveal.html>.
- LCSQA. 2007. *Métrologie des particules - Perspectives d'évolution du dispositif français de surveillance des PM2.5*. Laboratoire Central de la Surveillance de la Qualité de l'Air. [https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/PM25\\_IFr\\_GAY\\_EMD\\_LNE-OLe-Vrevisee\\_avec\\_sign.pdf](https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/PM25_IFr_GAY_EMD_LNE-OLe-Vrevisee_avec_sign.pdf).
- LCSQA. 2012. *Note du LCSQA - Métrologie des particules : carbone élémentaire ou black carbon ?* Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA). <https://www.lcsqa.org/fr/rapport/2012/ineris/carbone-elementaire-ou-black-carbon>.
- LCSQA. 2017a. *Traitement harmonisé de jeux de données multi-sites pour l'étude des sources de PM par Positive Matrix Factorization (PMF) (DRC-16-152341-07444A)*. Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA). <https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/lcsqa2016-traitement-harmonise-etude-sources-pmf.pdf>.



- LCSQA. 2017c. *Programmes de recherche expérimentaux pour l'étude des sources de PM en air ambiant (DRC-16-159637-12364A)*. Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA). <https://www.lcsqa.org/fr/rapport/2016/ineris/programmes-recherche-experimentaux-etude-sources-pm-air-ambiant>.
- Leavey, A., N. Reed, S. Patel, K. Bradley, P. Kulkarni et P. Biswas. 2017. "Comparing on-road real-time simultaneous in-cabin and outdoor particulate and gaseous concentrations for a range of ventilation scenarios." *Atmos. Environ.* 166: 130-141. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.07.016>.
- Leblanc, M., A. Albinet, S. Raux et CORTEA 2019. 2021. *RHAPSODIE 2 : Répartition gazeuse et particulaire des HAPs, nitro-HAP et Oxy-HAP émis par les biocarburants Diesel*. Convention ADEME 1966C0007. <https://librairie.ademe.fr/air-et-bruit/6032-projet-rhapsodie-2.html>.
- Louis, C., Y. Liu, P. Tassel, P. Perret, A. Chaumond et M. André. 2016. "PAH, BTEX, carbonyl compound, black-carbon, NO<sub>2</sub> and ultrafine particle dynamometer bench emissions for Euro 4 and Euro 5 diesel and gasoline passenger cars." *Atmos. Environ.* 141: 80-95. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.06.055>.
- Manoli, E., A. Kouras, O. Karagkiozidou, G. Argyropoulos, D. Voutsas et C. Samara. 2016. "Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) at traffic and urban background sites of northern Greece: source apportionment of ambient PAH levels and PAH-induced lung cancer risk." *Environmental Science and Pollution Research* 23 (4): 3556-3568. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5573-5>.
- Marinello, S., F. Lolli et R. Gamberini. 2020. "Roadway tunnels: A critical review of air pollutant concentrations and vehicular emissions." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 86: 102478. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102478>.
- Martini, G. 2018. *Scientific evidence on vehicle's emissions*. The European Commission's science and knowledge service - Joint Research Centre (JRC) (Stakeholder event 24 October 2018, Brussels : Preparing for the future European Emission Standards for Light and Heavy Duty Vehicles). <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/32164/attachments/3/translations/en/renditions/native>.
- Medina, S., L. Adélaïde, V. Wagner, P. de Crouy Chanel, E. Real, Colette A., F. Couvidat, B. Bessagnet, A. Durou, S. Host, M. Hulin, M. Corso et M. Pascal. 2021. *Impact de la pollution de l'air ambiant sur la mortalité en France métropolitaine. Réduction en lien avec le confinement du printemps 2020 et nouvelles données sur le poids total pour la période 2016-2019*. Santé publique France (Saint-Maurice). <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>.
- Mehel, A., N. Hafsi, M. Djeddou, P. Chevrier, H. Er-Rbib, G. Fiokoura, D. Perez, A. NBenabed, Ph. Cuvelier et M. Mostefaoui. 2024. *Amélioration des connaissances de la qualité de l'air dans un habitacle automobile - Projet AmCoAIR*. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe). <https://librairie.ademe.fr/7632-amelioration-des-connaissances-de-la-qualite-de-l-air-dans-un-habitacle-automobile-projet-amcoair.html>.
- Mehel, A., F. Murzyn, P. Cuvelier, L. Deville Cavellin, A. Baudic, B. Patte-Rouland, E. Varea et C. Sioutas. 2019. *Rapport final projet CAPTIHV – Caractérisation et analyse des polluants issus du transport automobile s'infiltrant dans les habitacles des véhicules*. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe). <https://librairie.ademe.fr/air-et-bruit/757-caracterisation-et-analyse-des-polluants-issus-du-transport-automobile-s-infiltrant-dans-les-habitacles-des-vehicules.html>.
- Morawska, L., Z. Ristovski, E. R. Jayaratne, D. U. Keogh et X. Ling. 2008. "Ambient nano and ultrafine particles from motor vehicle emissions: Characteristics, ambient processing

- and implications on human exposure." *Atmos. Environ.* 42 (35): 8113-8138. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.050>.
- Note technique. 2019. "Note technique du 22 février 2019 relative à la prise en compte des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact des infrastructures routières." NOR : TRET1833075N. Ministère de la transition écologique et solidaire et Ministère des Solidarités et de la Santé. <https://www.legifrance.gouv.fr/circulaire/id/44436>.
- OCDE. 2020. *Non-exhaust Particulate Emissions from Road Transport: An Ignored Environmental Policy Challenge*. Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) (Paris, France). <https://doi.org/10.1787/4a4dc6ca-en>.
- OMS. 2021. *Global air quality guidelines : particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (Geneva, Switzerland). <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>.
- OMS Europe. 2013. *Review of evidence on health aspects of air pollution: REVIHAAP project: technical report*. Organisation Mondiale de la Santé (OMS), bureau régional pour l'Europe. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/341712>.
- Padoan, E., F. Franco Ajmone-Marsan, X. Querol et Fulvio Amato. 2018. "An empirical model to predict road dust emissions based on pavement and traffic characteristics." *Environmental Pollution* 237: 713-720. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.115>.
- Pascal, M, P de Crouy Chanel, V Wagner, JM Yvon et C Saura. 2017. *Impact de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité dans la vallée de l'Arve*. Santé Publique France (Saint-Maurice, France). <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/documents/rapport-synthese/impact-de-l-exposition-chronique-aux-particules-fines-sur-la-mortalite-dans-la-vallee-de-l-arve>.
- Pattammattel, A., V. J. Leppert, P. Aronstein, M. Robinson, A. Mousavi, C. Sioutas, H. J. Forman et P. A. O'Day. 2021. "Iron speciation in particulate matter (PM2.5) from urban Los Angeles using spectro-microscopy methods." *Atmospheric Environment* 245: 117988. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117988>.
- Piscitello, A., C. Bianco, A. Casasso et R. Sethi. 2021. "Non-exhaust traffic emissions: Sources, characterization, and mitigation measures." *Sci. Total Environ.* 766: 144440. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144440>.
- Polo-Rehn, L. 2013. "Caractérisation et impacts des émissions de polluants du transport routier : Apports méthodologiques et cas d'études en Rhône Alpes." PhD, LGGE - Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement, Université de Grenoble. <https://theses.hal.science/tel-00876623>.
- Polo-Rehn, L., A. Waked, A. Charron, C. Piot, J.-L. Besombes, N. Marchand, G. Guillaud, O. Favez et J.-L. Jaffrezo. 2014. "Estimation de la contribution des émissions véhiculaires à l'échappement et hors échappement aux teneurs atmosphériques en PM10 par Positive Matrix Factorization (PMF)." *Pollution Atmosphérique : climat, santé, société* 221: 9 p. <https://doi.org/10.4267/pollution-atmospherique.4384>.
- Ravelomanantsoa, H., R. Molle, S. Dagand, C. Moitie, L. Durupt, C. Kaiser, MA. Kerautret, G. Thibault, S. Besançon, B. Frere et S. Cossais. 2021. *Connaissances des Expositions dans l'Air des habitacles des moyens de Transports Individuels et Collectifs en Région Parisienne - Projet Creatic-RP*. <https://librairie.ademe.fr/air-et-bruit/5044-connaissance-des-expositions-dans-l-air-des-habitacles-des-moyens-de-transports-individuels-et-collectifs-en-region-parisienne.html>.
- Rivas, I., D. C. S. Beddows, F. Amato, D. C. Green, L. Järvi, C. Hueglin, C. Reche, H. Timonen, G. W. Fuller, J. V. Niemi, N. Pérez, M. Aurela, P. K. Hopke, A. Alastuey, M. Kulmala, R. M. Harrison, X. Querol et F. J. Kelly. 2020. "Source apportionment of particle number

- size distribution in urban background and traffic stations in four European cities." *Environment International* 135: 105345. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105345>.
- Rodhe, H., P. Crutzen et A. Vanderpol. 1981. "Formation of sulfuric and nitric acid in the atmosphere during long-range transport." *Tellus* 33 (2): 132-141. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v33i2.10703>.
- Santé Canada. 2004. *L'évaluation du risque pour les lieux contaminés fédéraux au Canada - Part I : l'évaluation quantitative préliminaire des risques (EQPR) pour la santé humaine*. Santé Canada (Ottawa, Ontario, Canada). <https://publications.gc.ca/collections/Collection/H46-2-04-367F.pdf>.
- SDES Datalab. 2021. *Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2020*. Service des Données et Etudes Statistiques (SDES). <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/media/4844/download?inline>.
- SDES Datalab. 2023. *Bilan annuel des transports en 2022*. Service des données et études statistiques (SDES). <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/bilan-annuel-des-transports-en-2022>.
- Slezakova, K., D. Castro, M. C. Pereira, S. Moralis, C. Delerue-Matos et M. C. Alvim-Ferraz. 2010. "Influence of traffic emissions on the carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in outdoor breathable particles." *J Air Waste Manag Assoc* 60 (4): 393-401. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.60.4.393>.
- Soulhac, L., V. Garbero, P. Salizzoni, P. Mejean et R. J. Perkins. 2009. "Flow and dispersion in street intersections." *Atmospheric Environment* 43 (18): 2981-2996. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.02.061>.
- Timmers, V. R. J. H. et P. A. J. Achten. 2016. "Non-exhaust PM emissions from electric vehicles." *Atmos. Environ.* 134: 10-17. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.017>.
- US EPA. 2019. *Integrated Science Assessment for Particulate Matter (EPA/600/R-19/188)*. United States Environmental Protection Agency (US EPA) (Washington, Etats-Unis). <https://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=347534>.
- Varrica, D., F. Bardelli, G. Dongarrà et E. Tamburo. 2013. "Speciation of Sb in airborne particulate matter, vehicle brake linings, and brake pad wear residues." *Atmospheric Environment* 64: 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.08.067>.

## Annexe 1 : Lettre de saisine

2021-SA-0039

**GOVERNEMENT***Liberté  
Égalité  
Fraternité*

Paris, le 5 février 2021

SECRETARIAT GÉNÉRAL  
DIRECTION GÉNÉRALE DES INFRASTRUCTURES,  
DES TRANSPORTS ET DE LA MER  
DIRECTION GÉNÉRALE DU TRAVAIL

**Les ministres**

à

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

Nos réf. : D20001551  
Affaire suivie par : Virginie LENOBLE  
Tél. : 01 40 81 74 37  
Courriel : pssp1.d.drh.sg@developpement-durable.gouv.fr

**Objet :** Évaluation de l'exposition des travailleurs à la pollution de l'air et ses conséquences sur leur santé

L'évolution des connaissances scientifiques met en évidence une présence significative dans l'air extérieur de certains polluants, qu'il s'agisse de substances chimiques, de bio-contaminants, de particules ou de fibres pouvant nuire à l'environnement mais aussi à la santé. Ces polluants peuvent être d'origine naturelle ou liés à l'activité humaine. Le transport, et plus particulièrement le trafic routier, constitue une source majeure de pollution atmosphérique.

L'évaluation de l'exposition des travailleurs qui dans le cadre de leurs activités professionnelles sont présents ou interviennent sur le réseau routier constitue de ce fait un enjeu fort de santé au travail. Cette problématique intéresse tout autant le secteur privé que des agents relevant de la sphère publique, notamment les personnels d'exploitation des directions interdépartementales des routes (DIR), lesquels travaillent régulièrement à proximité immédiate du trafic routier et sont particulièrement concernés.

Pour autant, il est difficile d'objectiver les niveaux d'exposition à la pollution dans un contexte professionnel donné par rapport à la population générale et d'identifier les sources de pollution présentant le plus de risques et appelant des mesures de prévention particulières.

Pour information, sur cette problématique, à la demande de la DIR Nord, la Direction territoriale Nord-Picardie du Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA) a réalisé un état des lieux de la qualité de l'air en bordure des voies appartenant au réseau routier non concédé (Novembre 2017). Les résultats de cette étude ont mis en évidence des niveaux de concentrations qui dépendent notamment de la typologie du site, des conditions météorologiques, et du trafic routier.

D'autres agents de ces ministères, à l'instar des agents en charge du contrôle des transports terrestres (en l'occurrence le contrôle des poids lourds sur les axes routiers) peuvent être également concernés par cette exposition dans l'exercice de leurs fonctions, conduisant à un besoin d'expertise plus large.

92055 LA DÉFENSE cedex  
Tél : 33 (0)1 40 81 21 22  
[www.ecologique-solidaire.gouv.fr](http://www.ecologique-solidaire.gouv.fr)  
[www.cohesion-territoires.gouv.fr](http://www.cohesion-territoires.gouv.fr)



Dans la mesure où certains polluants atmosphériques ou les combinaisons entre différents éléments peuvent être préoccupants au regard de leur impact potentiel sur la santé des personnels d'exploitation travaillant au contact du trafic routier, le comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail ministériel (CHSCT-M) s'est donc saisi de cette problématique, à la demande des représentants du personnel du Ministère de la transition écologique (MTE) et du Ministère de la cohésion des territoires et des relations avec les collectivités territoriales (MCTRCT).

Compte tenu des interrogations générales sur l'impact sanitaire de la pollution de l'air par le trafic routier pour les travailleurs exposés, nous vous demandons par la présente saisine, d'expertiser les points suivants :

- Établir si un excès de risque supplémentaire lié à l'exposition au trafic routier pour les travailleurs est possible par rapport à la population générale et dans un tel cas d'identifier les déterminants de l'exposition associés et leurs importances relatives, en particulier les fréquences et durées de présence sur le réseau routier, ou la typologie des lieux de travail (gares routières et entrepôts, tunnels, réseau à fort trafic, etc.) ;
- Si certains polluants sont générés à la fois par le trafic routier et par l'activité des travailleurs estimer la contribution de chacune des sources ;
- Identifier plus spécifiquement des indicateurs pertinents à surveiller en lien avec le trafic routier, afin de faciliter l'évaluation de ces risques pour les travailleurs. Une mise en perspective des méthodes de mesure existantes des différents polluants identifiés et les recommandations pour leur mise en œuvre en fonction des contextes est également attendue.

Vous pourrez envisager un rapprochement avec tout autre organisme pertinent (INRS, Santé publique France, CARSAT, etc.) qui pourront vous apporter tout l'éclairage scientifique et technique nécessaire et apporter si possible des pistes de réflexion sur les référentiels pertinents à développer avec les secteurs concernés aux fins d'une meilleure prévention des risques professionnels.

Les éléments qui seront produits dans le cadre de cette expertise auront vocation à éclairer nos administrations sur les mesures de prévention.

Un rapport intermédiaire est souhaité pour mi 2021 afin de présenter les premiers éléments de revue bibliographique et d'expertise, et les phases de travaux complémentaires à engager.

Nous vous remercions de bien vouloir nous indiquer, dans les meilleurs délais, les modalités de réponse à cette saisine.

Pour les ministres et par délégation,

La Secrétaire générale

  
Émilie PIETTE

Le directeur général des infrastructures,  
des transports et de la mer

Marc PAPINUTTI Date : 2021.01.25  
marc.papinutti 20:43:14 +01'00'

Marc PAPINUTTI

Le directeur général  
du travail



Pierre RAMAIN

Copies à : Mesdames et Messieurs les représentants du personnel au CHSCT-M  
Madame la porte-parole des médecins de prévention  
Madame la déléguée du réseau des ISST

## Annexe 2 : Données collectées pour documenter la faisabilité de réalisation de l'évaluation des expositions et des risques

### Valeurs sanitaires de référence

#### ■ Définitions

L'Anses définit une valeur toxicologique de référence (VTR) comme une appellation générique regroupant tous les types d'indices toxicologique permettant d'établir une relation entre une quantité ou concentration d'un agent chimique et un effet néfaste (effet à seuil) ou entre une quantité ou concentration d'un agent chimique et une probabilité d'effet (effet sans seuil), à l'échelle d'une population. Les VTR permettent, par comparaison avec les concentrations dans les différents médias, de qualifier, voire de quantifier, un risque pour la santé humaine. Elles ont pour vocation de protéger l'ensemble de la population humaine y compris les populations sensibles (ex. enfants, personnes âgées, etc.). Elles sont spécifiques d'un polluant, d'une durée d'exposition, et d'une voie d'exposition. Selon les institutions qui les établissent, les VTR ont des intitulés différents.

En fonction du mode d'action identifié pour le polluant considéré, deux modes de construction des VTR sont distingués :

- à seuil de dose : il est considéré que l'effet ne survient que si une certaine dose est atteinte et dépasse les capacités de détoxification de l'organisme. Cela concerne les effets non cancérogènes ou effets cancérogènes non génotoxiques directs.
- sans seuil de dose : il est considéré que la probabilité de l'effet dépend de la dose. La VTR sans seuil, exprimée sous forme d'excès de risque unitaire (ERU) traduit une augmentation de probabilité, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu exposé lors de sa vie entière à une unité de dose du polluant développe une pathologie. Cela concerne les effets cancérogènes génotoxiques directs. Dans ce rapport, les termes « ERU » ou « VTR sans seuil » sont utilisés indifféremment.

Les valeurs guides (VG) de qualité de l'air correspondent à une concentration dans l'air d'un agent chimique associée à un pas de temps en dessous de laquelle aucun effet sanitaire ou aucune nuisance ayant un retentissement sur la santé ne sont attendus pour la population générale. Dans le cadre de cette expertise, le recensement a concerné les valeurs guides de qualité d'air ambiant (*Air quality guidelines* (AQGs)) proposées par l'OMS ainsi que les valeurs guides de l'air intérieur (VGAI) établies par l'Anses.

Les AQGs élaborées par l'OMS constituent la base scientifique pour protéger la santé des populations par rapport aux effets de la pollution atmosphérique, et contribuer à éliminer ou réduire au maximum les polluants atmosphériques reconnus ou soupçonnés d'être dangereux pour la santé ou le bien-être des populations humaines. Elles sont construites pour des expositions court terme (concentration exprimée en moyenne sur 24h voire sur un pas de temps plus court) ou long terme (concentration exprimée en moyenne annuelle).

Les VGAI élaborées par l'Anses constituent le socle initial du processus institutionnel visant à fixer des valeurs réglementaires dans le cadre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public. Elles ne ciblent pas de milieu intérieur spécifique et visent à protéger l'ensemble de la population générale, notamment les personnes les plus sensibles, des effets sanitaires (à seuil ou sans seuil de dose) liés à une exposition à la pollution de l'air par inhalation. Les VGAI peuvent être de 3 types en fonction des durées d'exposition considérées : court terme si l'effet critique apparaît après une courte durée d'exposition (15 min à quelques jours) ; long terme si l'effet critique apparaît suite à une

exposition continue à long terme ou s'il est observé suite à une accumulation de l'agent chimique dans l'organisme ; moyen terme pour une durée d'exposition supérieure à quelques jours mais inférieure à un an.

■ Données recensées

Les informations principales issues du recensement des VTR et des valeurs guides de qualité de l'air pour les 35 polluants d'intérêt sont présentées ci-après. Pour rappel, les données concernant la classification des substances proviennent de la consultation des monographies du CIRC (<https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications>), de la classification US EPA ([https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-09/chronicfinaloutput\\_9\\_29\\_2021-12-46-18-pm\\_0.xlsx](https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-09/chronicfinaloutput_9_29_2021-12-46-18-pm_0.xlsx)), de la classification CLP (<https://echa.europa.eu/fr/search-for-chemicals>), de la liste PE (DEDuCT) (<https://cb.imsc.res.in/deduct/>) et de la liste de substances chimiques d'intérêt en raison de leur activité endocrine potentielle Anses (2021) (<https://www.anses.fr/fr/system/files/REACH2019SA0179Anx-1.pdf>).



**Aldéhydes**

Substances (N° CAS)	Classifications	Effets et voies d'exposition considérés par les valeurs de référence / Niveau de preuve effets sanitaires	
		Exposition court terme	Exposition long terme
Acétaldéhyde (75-07-0)	Cancérogène probable pour l'être humain (US EPA 1988 ; CLP) ; possible pour l'être humain (CIRC 1998) Mutagène suspecté pour l'être humain (CLP) <b>Preuves d'effets PE in vivo chez animal (Deduct ; Anses)</b>	<b>Exposition par inhalation</b> A seuil   Bronchoconstriction (asthmatiques) (Anses 2014)	<b>Exposition par inhalation</b> Cancérogène   Tumeurs nasales (rats) (OEHHA 2009 ; US EPA 1988) A seuil   Atteintes de l'épithélium olfactif (rats) (OEHHA 2008 ; US EPA 1991)
Acroléine (107-02-8)	Cancérogène probable pour l'être humain (CIRC 2020)	<b>Exposition par inhalation</b> A seuil   Irritation nasale et de la gorge, diminution de la fréquence respiratoire (humains) (Anses 2020 ; ATSDR 2007) ; irritation oculaire subjective (OEHHA 2008)	<b>Exposition par inhalation</b> A seuil   Atteintes des épithéliums respiratoire supérieur et olfactif (rats et souris) (Anses 2020 ; OEHHA 2009, 2008 ; ATSDR 2007)
Formaldéhyde 50-00-0	Cancérogène avéré pour l'être humain (CIRC 2009 ; US EPA 2024) ; probable pour l'être humain (CLP) Mutagène suspecté pour l'être humain (CLP) <b>Preuves d'effets PE in vivo chez animal (Deduct ; Anses)</b>	<b>Exposition par inhalation</b> A seuil   Irritations oculaires (humains) (Anses 2018)	<b>Exposition par inhalation</b> Cancérogène   Cancer du nasopharynx (travailleurs) (Anses 2018 ; Santé Canada 2000 ; US EPA 1990) A seuil   Lésions métaplasiques et hyperplasiques au niveau des cavités nasales (travailleurs) et irritations oculaires (humains) (Anses 2018 ; ATSDR 1999)
Propionaldéhyde (123-38-6)	<b>Preuves d'effets PE in vivo chez animal (Deduct ; Anses)</b>		<b>Exposition par inhalation</b> A seuil   Atrophie de l'épithélium olfactif (rats) (US EPA 2008)

**Composés inorganiques**

Substances (N° CAS)	Classifications	Effets et voies d'exposition considérés par les valeurs de référence / Niveau de preuve effets sanitaires	
		Exposition court terme	Exposition long terme
Ammoniac (7664-41-7)	Non classé pour les classifications considérées.	<b>Exposition par inhalation</b> A seuil   Irritation respiratoire (humains) (Anses 2018 ; ATSDR 2004 ; OEHHA 1999)	<b>Exposition par inhalation</b> A seuil   Altération de la fonction pulmonaire et augmentation des symptômes respiratoires (humains) (Anses 2018 ; US EPA 2016 ; ATSDR 2004 ; OEHHA 2000)

Substances (N° CAS)	Classifications	Effets et voies d'exposition considérés par les valeurs de référence / Niveau de preuve effets sanitaires	
		Exposition court terme	Exposition long terme
Dioxyde d'azote (10102-44-0)	Non classé pour les classifications considérées.	<b>Exposition par inhalation</b> A seuil   Mortalité toutes causes non accidentelles (population générale) (OMS 2021), modification de la fonction respiratoire et augmentation de la réactivité des voies respiratoires (asthmatiques) (Anses 2013 ; OEHHA 1999)	<b>Exposition par inhalation</b> A seuil   Mortalité toutes causes non accidentelles (population générale) (OMS 2021), survenue de symptômes respiratoires (enfants) (Anses 2013)
Ions nitrates (14797-55-8)	Preuves d'effets PE in vivo chez animal (Deduct ; Anses)		Niveau de preuves épidémiologiques fort d'effets sur la santé cardiovasculaire <b>Particules de nitrates</b> (Anses 2019b) <b>Exposition par ingestion</b> A seuil   méthémoglobinémie (bébés) <b>ions nitrates</b> (ATSDR 2017)

## Hydrocarbures

Substances (N° CAS)	Classifications	Effets et voies d'exposition considérés par les valeurs de référence / Niveau de preuve effets sanitaires	
		Exposition court terme	Exposition long terme
1,3-butadiène (106-99-0)	Cancérogène avéré pour l'être humain (CIRC 2009 ; US EPA 2002 ; CLP) Mutagène supposé pour l'être humain (CLP) Preuves d'effets PE in vivo chez animal (Deduct)		<b>Exposition par inhalation</b> Cancérogène   Leucémies (travailleurs) et tumeurs pulmonaires (souris) (Anses 2023 ; Santé Canada 2017 ; OEHHA 2011) A seuil   Atrophie ovarienne (souris) (Anses 2021 ; OEHHA 2013 ; US EPA 2002)
Benzène (71-43-2)	Cancérogène avéré pour l'être humain (CIRC 2017 ; US EPA 2000 ; CLP) Mutagène supposé pour l'être humain (CLP) Toxique grave pour l'être humain pour des expositions répétées (CLP) Preuves d'effets PE in vivo chez animal (Deduct ; Anses)	<b>Exposition par inhalation</b> A seuil   Diminution de la réponse proliférative des lymphocytes B et des lymphocytes circulants (souris) (Anses 2024 ; ATSDR 2007) ; Hématotoxicité fœtale et néonatale (OEHHA 2014)	<b>Exposition par inhalation</b> Cancérogène   Leucémies (travailleurs) (Anses 2024 ; OEHHA 2005 ; US EPA 2003 ; RIVM 2001) A seuil   Diminution du nombre de lymphocytes et des cellules sanguines périphériques (travailleurs) (Anses 2024 ; OEHHA 2014 ; ATSDR 2007 ; US EPA 2003) ; retard dans l'alloréactivité in vitro des lymphocytes (Anses 2024 ; ATSDR 2007)
Éthylbenzène 100-41-4	Cancérogène possible pour l'être humain (CIRC 2000) Toxique supposé pour la santé humaine à la suite d'expositions répétées (CLP) Preuves d'effets PE in vivo chez animal (Deduct ; Anses)	<b>Exposition par inhalation</b> A seuil   Effet ototoxique (cochon d'inde) (Anses 2016 ; ATSDR 2010)	<b>Exposition par inhalation</b> Cancérogène   Carcinomes ou adénomes des tubules rénaux (rats) (OEHHA 2009) A seuil   Effet ototoxique (cochon d'inde) et effets rénaux (sévérité augmentée de la néphropathie chronique progressive) (rats) (Anses 2016 ; Santé Canada 2021 ; TCEQ 2015 ; ATSDR 2010)

Substances (N° CAS)	Classifications	Effets et voies d'exposition considérés par les valeurs de référence / Niveau de preuve effets sanitaires	
		Exposition court terme	Exposition long terme
Anthracène (120-12-7)	Cancérogène possible pour l'être humain (CIRC 2023)		<b>Exposition par inhalation</b> Cancérogène   Tumeurs des voies respiratoires supérieures : cavité nasale, larynx, trachée (hamsters) FET B[a]P (INERIS 2018)
Benzo[a] anthracène (56-55-3)	Cancérogène probable pour l'être humain (US EPA 1990), possible pour l'être humain (CIRC 2005 ; CLP) <b>Preuves d'effets PE in vivo chez animal (Deduct ; Anses)</b>		<b>Exposition par inhalation</b> Cancérogène   Tumeurs des voies respiratoires supérieures : cavité nasale, larynx, trachée (hamsters) FET B[a]P (INERIS 2018 ; OEHHA 2009)
Benzo[a]pyrène (50-32-8)	Cancérogène avéré pour l'être humain (CIRC 2009 ; US EPA 2017) Mutagène et reprotoxique supposé pour l'être humain (CLP) <b>Preuves d'effets PE in vivo chez animal et in vitro dans des expériences utilisant des cellules humaines (Deduct)</b>		<b>Exposition par inhalation</b> Cancérogène   Tumeurs des voies respiratoires supérieures : cavité nasale, larynx, trachée (hamsters) (US EPA 2017 ; OEHHA 2011 ; Santé Canada 2010) A seuil   Effets sur la reproduction : augmentation de la mortalité embryonnaire / fœtale (rats) (US EPA 2017)
Fluoranthène 206-44-0	Inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'être humain (CIRC 2010 ; US EPA 1990)		<b>Exposition par inhalation</b> Cancérogène   Tumeurs des voies respiratoires supérieures : cavité nasale, larynx, trachée (hamsters) FET B[a]P (INERIS 2018)
Naphtalène 91-20-3	Cancérogène possible pour l'être humain (CIRC 2002 ; US EPA 1998)		<b>Exposition par inhalation</b> Cancérogène   Neuroblastomes de l'épithélium olfactif (rats) ( <u>Anses 2013</u> ; OEHHA 2003) A seuil   Irritations nasales et lésions de l'épithélium respiratoire et olfactif (rats et souris) ( <u>Anses 2013</u> ; ATSDR 2005)
Phénanthrène (85-01-8)	Inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'être humain (CIRC 2005 ; US EPA 1990)		<b>Exposition par inhalation</b> Cancérogène   Tumeurs des voies respiratoires supérieures : cavité nasale, larynx, trachée (hamsters) FET B(a)P (INERIS 2018)
Pyrène (129-00-0)	Inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'être humain (CIRC 2005 ; US EPA 1990)		<b>Exposition par inhalation</b> Cancérogène   Tumeurs des voies respiratoires supérieures : cavité nasale, larynx, trachée (hamsters) FET B(a)P (INERIS 2018)

**Métaux**

Substances (N° CAS)	Classifications	Effets et voies d'exposition considérés par les valeurs de référence / Niveau de preuve effets sanitaires	
		Exposition court terme	Exposition long terme
Aluminium élémentaire (7429-90-5) et composés	Non classé dans sa forme élémentaire pour les classifications considérées		<b>Exposition par ingestion</b> A seuil   Neurotoxicité et atteintes neuro-développementales (souris) <i>Aluminium lactate</i> (ATSDR 2008)
Antimoine élémentaire (7440-36-0) et composés ( <i>Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Trioxyde de diantimoine</i> : 1309-64-4)	Non classé dans sa forme élémentaire pour les classifications considérées <i>Trioxyde de diantimoine</i> : cancérogène probable (CIRC 2022), possible (CLP)	<b>Exposition par inhalation</b> A seuil   Métaplasie squameuse de l'épiglotte (souris) <i>Trioxyde de diantimoine</i> (ATSDR 2019)	<b>Exposition par inhalation</b> A seuil   Inflammation pulmonaire (rats) <i>Trioxyde de diantimoine</i> (ATSDR 2019)
Arsenic élémentaire (7440-38-2) et composés ( <i>As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Trioxide d'arsenic</i> : 1327-53-3)	Cancérogène avéré pour l'être humain pour l'arsenic et ses composés inorganiques (CIRC 2009 ; US EPA 1995) <i>Preuves d'effets PE in vivo chez animal et in vitro dans des expériences utilisant des cellules humaines</i> (Deduct ; Anses)	<b>Exposition par inhalation</b> A seuil   Effets sur le développement : diminution du poids du fœtus (souris) <i>Trioxide d'arsenic</i> (OEHHA 2008)	<b>Exposition par inhalation</b> Cancérogène   Cancer du poumon (travailleurs) <i>Arsenic inorganique</i> (Santé Canada 2010 ; US EPA 1995) A seuil   Effets neuro-développementaux : diminution des capacités intellectuelles et effets néfastes sur le comportement (enfants) <i>Arsenic inorganique</i> (OEHHA 2014, 2008)
Baryum élémentaire (7440-39-3) et composés	Inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'être humain (US EPA 1998)		<b>Exposition par inhalation</b> A seuil   Effets cardiovasculaires (rats) <i>Poussières de sels solubles et insolubles</i> (RIVM 2000)
Chrome élémentaire (7440-47-3)	Inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'être humain (CIRC 1989) <i>Preuves d'effets PE in vivo chez animal</i> (Deduct ; Anses)		
Chrome II, III et composés ( <i>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i> : 1308-38-9)	Inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'être humain (CIRC 1989 ; US EPA 1998) <i>Preuves d'effets PE in vivo chez animal</i> (Deduct ; Anses)		<b>Exposition par inhalation</b> A seuil   <i>Composés insolubles</i> : inflammation chronique des poumons et hyperplasie des cellules septales (rats) (INERIS 2017 ; ATSDR 2012)   <i>Composés solubles</i> : lésions du nez et du larynx (ATSDR 2012)

Substances (N° CAS)	Classifications	Effets et voies d'exposition considérés par les valeurs de référence / Niveau de preuve effets sanitaires	
		Exposition court terme	Exposition long terme
Chrome VI et composés (CrO <sub>3</sub> : 1333-82-0)	Cancérogène avéré pour l'être humain (CIRC 2009 ; US EPA 2024 ; CLP) Mutagène et reprotoxique supposé pour l'être humain (CLP) <b>Preuves d'effets PE in vivo chez animal (Deduct ; Anses)</b>		<b>Exposition par inhalation</b> Cancérogène   <b>Cr<sup>VI</sup> particulaire</b> : cancer pulmonaire (travailleurs) (OMS CICAD 2013) <b>A seuil</b>   <b>Cr<sup>VI</sup> particulaire</b> : modification de la lactate déshydrogénase dans le liquide de lavage broncho-alvéolaire (rats) (OMS CICAD 2013 ; ATSDR 2012)   <b>Cr<sup>VI</sup> aérosol</b> : irritation nasale, atrophie des muqueuses, diminution de la CVF, de la DEM 25/75 et du VEMS (travailleurs) (OMS CICAD 2013 ; ATSDR 2012 ; US EPA 1998))
Cobalt élémentaire (7440-48-4) et composés (CoSO <sub>4</sub> : 10124-43-3)	Cancérogène probable pour l'être humain pour le cobalt métal (II) et les sels solubles de cobalt (II) (CIRC 2022) Mutagène et reprotoxique suspecté pour l'être humain (CLP)		<b>Exposition par inhalation</b> Cancérogène   Cancer pulmonaire (rats) <b>Composés insolubles (métal) et solubles (sulfate de cobalt)</b> (OEHHA 2019) <b>A seuil</b>   Diminution de la fonction respiratoire et maladies interstitielles pulmonaires (travailleurs) <b>Poussières et composés inorganiques</b> (ATSDR 2023 ; OMS CICAD 2006 ; RIVM 2001)
Cuivre élémentaire (7440-50-8) et composés	Inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'être humain (US EPA 1988)	<b>Exposition par inhalation</b> <b>A seuil</b>   Fièvre des métaux (travailleurs) <b>Poussières de cuivre</b> (OEHHA 1999)	<b>Exposition par inhalation</b> <b>A seuil</b>   Absence d'effets pulmonaires (lapins) <b>Chlorure de cuivre</b> (RIVM 1999-2000)
Etain élémentaire (7440-31-5) et composés (TBTO : 56-35-9)	Non classé dans sa forme élémentaire pour les classifications considérées <b>Preuve d'effets PE in vivo chez l'animal pour l'oxyde de tributylétain (TBTO) (Deduct)</b>		<b>Exposition par inhalation</b> <b>A seuil</b>   Irritation des voies respiratoires supérieures (rats) <b>Oxyde de tributylétain</b> (RIVM 2008)
Fer élémentaire (7439-89-6) et composés	Non classé dans sa forme élémentaire pour les classifications considérées	Niveau de preuves épidémiologiques <b>fort</b> d'effets cardiovasculaires <b>Particules de fer</b> (Anses 2019b)	Niveau de preuves épidémiologiques <b>modéré</b> d'effets cardiovasculaires du fer dans les particules de l'air ambiant <b>Particules de fer</b> (Anses 2019b)
Manganèse élémentaire (7439-96-5) et composés	Inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'être humain (US EPA 1988) <b>Preuves d'effets PE in vivo chez animal (Deduct ; Anses)</b>		<b>Exposition par inhalation</b> <b>A seuil</b>   Altération de la fonction neurocomportementale : temps de réaction, coordination œil-main, stabilité de la main (travailleurs) <b>Fraction totale et respirable, poussières</b> (ATSDR 2012 ; OEHHA 2008 ; OMS 2000 ; US EPA 1993)

Substances (N° CAS)	Classifications	Effets et voies d'exposition considérés par les valeurs de référence / Niveau de preuve effets sanitaires	
		Exposition court terme	Exposition long terme
Nickel élémentaire (7440-02-0) et composés	Cancérogène probable pour l'être humain pour la forme élémentaire (CIRC 1989) et cancérogène avéré pour les composés du nickel (CIRC 2009 ; US EPA 1987)	<b>Exposition par inhalation</b> <u>A seuil</u>   Immunotoxicité : diminution de la réponse des anticorps (souris) <i>Nickel et composés</i> (OEHHA 2012)	<b>Exposition par inhalation</b> <u>Cancérogène</u>   Cancer pulmonaire (travailleurs) <i>Nickel et ses composés inorganiques (nickel sulfate, nickel subsulfide, nickel oxide et nickel chloride)</i> (TCEQ 2011 ; OMS 2000 ; OEHHA 1991) <u>A seuil</u>   Lésions pulmonaires : hyperplasie des macrophages alvéolaires, inflammation pulmonaire chronique active et protéinose alvéolaire (rats) <i>Nickel et composés</i> (OEHHA 2012 ; TCEQ 2011 ; ATSDR 2005)
Titane élémentaire (7440-32-6) et composés ( <i>TiO<sub>2</sub> nanométrique : 13463-67-7</i> )	Non classé dans sa forme élémentaire pour les classifications considérées. Cancérogène possible pour l'être humain pour la forme nanométrique du TiO <sub>2</sub> (CIRC 2006 ; CLP)		<b>Exposition par inhalation</b> <u>A seuil</u>   Hypertrophies et hyperplasies des cellules alvéolaires de type II, augmentation réversible de la réplication des cellules alvéolaires et bronchiolaires, accumulation des macrophages alvéolaires (rats) <i>Dioxyde de titane sous forme nanométrique</i> (Anses 2019)
Vanadium élémentaire (7440-62-2) et composés ( <i>V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 1314-62-1</i> )	Non classé dans sa forme élémentaire pour les classifications considérées. Cancérogène possible pour l'être humain pour le pentaoxyde de vanadium (CIRC 2003 ; CLP) Mutagène et reprotoxique supposé pour l'être humain pour le pentaoxyde de vanadium (CLP) <i>Preuves d'effets PE in vivo chez animal (Deduct ; Anses)</i>	<b>Exposition par inhalation</b> <u>A seuil</u>   Irritation des voies respiratoires (humaines) et inflammation pulmonaire (rats) <i>Pentaoxyde de vanadium</i> (ATSDR 2012 ; OEHHA 1999)	<b>Exposition par inhalation</b> <u>A seuil</u>   Dégénérescence de l'épithélium respiratoire de l'épiglotte (rats et souris) <i>Pentaoxyde de vanadium</i> (ATSDR 2012 ; RIVM 2009)
Zinc élémentaire (7440-66-6) et composés	Inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'être humain (US EPA 2005)		Niveau de preuves épidémiologiques faible à modéré d'effets cardiovasculaires et respiratoires (Anses 2019b) <i>Particules de zinc</i> <b>Exposition par ingestion</b> <u>A seuil</u>   Effets hématologiques : diminution de l'hématocrite, de la ferritine sanguine et de l'activité de la SOD érythrocytaire (femmes) (US EPA 2005)

**Particules et leurs composés**

Substances (N° CAS)	Classifications	Effets et voies d'exposition considérés par les valeurs de référence / Niveau de preuve effets sanitaires	
		Exposition court terme	Exposition long terme
Carbone suie (1333-86-4)	Non classé dans sa forme élémentaire pour les classifications considérées.	<b>Exposition par inhalation</b> Sans seuil   Hospitalisations toutes causes cardiovasculaires (population générale) (Anses 2024)	<b>Exposition par inhalation</b> Sans seuil   Mortalité toutes causes non accidentelles (population générale) (Anses 2024)
Particules ultrafines	Cancérogène avéré pour l'être humain pour les matières particulaires de la pollution atmosphérique (dont les particules ultrafines font partie) (CIRC 2013)	<b>Exposition par inhalation</b> Niveau de preuves épidémiologiques <u>modéré</u> d'effets sur la santé cardiovasculaire (augmentation du risque de mortalité et d'hospitalisation pour causes cardiovasculaires) (Anses 2019b)	<b>Exposition par inhalation</b> Niveau de preuves épidémiologiques <u>modéré</u> d'effets sur la santé neurologique (altération du développement des performances cognitives chez l'enfant) (Anses 2019b)
PM10	Cancérogène avéré pour l'être humain pour les matières particulaires de la pollution atmosphérique (CIRC 2013)	<b>Exposition par inhalation</b> Sans seuil   Hospitalisations toutes causes cardiaques (population générale) (Anses 2024)	
PM2,5	Cancérogène avéré pour l'être humain pour les matières particulaires de la pollution atmosphérique (CIRC 2013)	<b>Exposition par inhalation</b> Sans seuil   Hospitalisations toutes causes cardiaques (population générale) (Anses 2024)	<b>Exposition par inhalation</b> Sans seuil   Mortalité toutes causes non accidentelles (population générale) (Anses 2024)



## Métrologie

La prise en compte de la capacité à mesurer les polluants dans l'air ambiant a été envisagée pour évaluer la faisabilité de l'évaluation des expositions et de caractérisation des risques. Afin de recenser les méthodes de prélèvement et d'analyse existantes pour chacun des polluants de la liste d'intérêt, plusieurs éléments ont été documentés en réponse aux questions suivantes :

- Existe-t-il une réglementation ou une norme pour la surveillance ou la mesure de ce polluant dans l'air (ambiant, intérieur ou des environnements de travail) ?
- Existe-t-il un guide du LCSQA pour la mesure de ce polluant dans l'air ambiant ?
- Si non, existe-t-il un rapport du GT « métrologie » de l'Anses pour la mesure de ce polluant dans l'air intérieur (pour le suivi des Valeurs Guides de l'Air Intérieur (VGAI)) ou dans l'air des lieux de travail (pour le suivi des Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle (VLEP)) ?
- Si non, existe-t-il une méthode MétroPol validée par l'INRS pour l'évaluation de l'exposition professionnelle ?
- Si seuls l'air intérieur et l'air des lieux de travail sont documentés, les données de validation disponibles permettent-elles de conclure à la cohérence du domaine de validité des méthodes recensées avec ce qui est observé dans l'air ambiant extérieur ? Cet exercice calculatoire permet de déterminer si la méthode initialement développée pour l'air intérieur ou l'environnement de travail est adaptable, applicable ou transposable à des domaines de concentrations en air ambiant.

Les éléments documentés sont présentés dans les tableaux suivants par famille de polluants.

Aldéhydes	
<b>Acétaldéhyde, acroléine, formaldéhyde et propionaldéhyde</b>	<p>Deux normes ont été identifiées pour la mesure du formaldéhyde et de l'acétaldéhyde dans l'air intérieur et l'air des lieux de travail :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>NF ISO 16000-3 (Air intérieur - Dosage du formaldéhyde et d'autres composés carbonyles dans l'air intérieur et dans l'air des chambres d'essai - Partie 3 : méthode par échantillonnage actif)</li> <li>NF X 43-264 (Qualité de l'air - Air des lieux de travail - Prélèvement et dosage d'aldéhydes par pompage sur support imprégné de DNPH et dosage par chromatographie en phase liquide CLPH)</li> </ul> <p>Il n'existe pas de guide LCSQA pour la mesure de ces quatre aldéhydes dans l'air ambiant.</p> <p>Le formaldéhyde et le propionaldéhyde font l'objet de la « stratégie nationale de surveillance » dans le cadre de l'Arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant (liste 1.2d).</p>
<b>Acétaldéhyde</b>	<p>Dans le cadre de l'élaboration de la VGAI acétaldéhyde (<a href="https://www.anses.fr/system/files/AIR2013sa0076Ra.pdf">https://www.anses.fr/system/files/AIR2013sa0076Ra.pdf</a>), une seule méthode de mesure a été évaluée. Elle met en application les NF ISO 16000-3 et NF X 43-264 et est considérée validée pour le court terme (1 heure). La méthode peut être adaptée en faisant varier la durée de prélèvement (jusqu'à 24 heures), mais aucune méthode n'est validée pour le long terme (&gt;1 an). Les données fournies montrent des concentrations en air extérieur parfois en dessous de la limite de quantification.</p> <p>Il est noté que deux autres méthodes existent : la première proposée par l'US EPA, la méthode TO-15, proposée pour la mesure de l'acétaldéhyde mais également de plus de 90 composés organiques volatils (COV) dans l'air ambiant, n'est pas normalisée. Les données de validation disponibles pour la méthode MétroPol M-66 (<a href="https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_66">https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_66</a>) ne permettent pas de comparer les domaines de validité avec les concentrations observées en air ambiant.</p>
<b>Acroléine</b>	<p>Dans le cadre de l'élaboration de la VGAI acroléine (<a href="https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2020MPEX0184Ra.pdf">https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2020MPEX0184Ra.pdf</a>), trois méthodes de mesure ont été recensées et évaluées. Une des méthodes (n°3) vise à mesurer des niveaux environnementaux faibles, à partir 0,4 µg.m<sup>-3</sup>. Néanmoins, les données fournies montrent des concentrations en air extérieur souvent en dessous de la limite de quantification. Des problèmes métrologiques avaient déjà été identifiés par Certu-Cete Lyon (2013) pour la mesure de l'acroléine dans l'air ambiant extérieur. La réactivité de l'acroléine est un paramètre limitant notamment au niveau du prélèvement.</p> <p>Les données de validation disponibles pour la méthode MétroPol M-70 (<a href="https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_70">https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_70</a>) ne permettent pas de comparer les domaines de validité avec les concentrations observées en air ambiant.</p>
<b>Formaldéhyde</b>	<p>Dans le cadre de l'élaboration de la VGAI formaldéhyde (<a href="https://www.anses.fr/system/files/AIR2017SA0041Ra.pdf">https://www.anses.fr/system/files/AIR2017SA0041Ra.pdf</a>), neuf méthodes de mesure ont été recensées et évaluées. Une de ces méthodes, considérée comme partiellement validée, s'appuie en partie sur des protocoles air ambiant. Les données fournies montrent que les domaines de validité de certaines méthodes peuvent atteindre les concentrations observées en air ambiant.</p> <p>Dans le cadre de l'élaboration de la VLEP formaldéhyde (<a href="https://www.anses.fr/fr/system/files/VLEP2016SA0257Ra.pdf">https://www.anses.fr/fr/system/files/VLEP2016SA0257Ra.pdf</a>), huit méthodes ont été recensées et évaluées. Deux méthodes ont été considérées partiellement validées pour suivre la VLEP. Aucune mention air ambiant n'a été proposée.</p> <p>Les données de validation disponibles pour la méthode MétroPol M-4 (<a href="https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_4">https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_4</a>) montrent des domaines de validité se chevauchant avec les concentrations observées en air ambiant.</p>

Aldéhydes	
Propionaldéhyde	<p>Pour l'élaboration de la VGAI d'un mélange d'aldéhydes (<a href="https://www.anses.fr/fr/system/files/VSR2016SA0101Ra-1.pdf">https://www.anses.fr/fr/system/files/VSR2016SA0101Ra-1.pdf</a>), une méthode de mesure multi-composé a été identifiée afin de décrire et de discuter leur mise en œuvre pour la mesure des différents composés incluant propionaldéhyde. Aucune donnée de validation n'est cependant disponible.</p> <p>Aucune méthode MétroPol n'a été recensée pour la mesure du propionaldéhyde.</p>

LCSQA : Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air ; VGAI : Valeur Guide pour l'Air Ambiant ; VLEP : Valeur Limite d'Exposition Professionnelle.

Composés inorganiques	
Ammoniac	<p>Une norme a été identifiée pour la mesure de l'ammoniac en air ambiant : NF EN 17346 (Air ambiant - Méthode normalisée pour la détermination de la concentration en ammoniac au moyen d'échantillonneurs par diffusion).</p> <p>Il existe un guide méthodologique du LCSQA pour la mesure des concentrations en ammoniac dans l'air ambiant (<a href="https://www.lcsqa.org/fr/rapport/guide-methodologique-pour-la-mesure-des-concentrations-en-ammoniac-dans-lair-ambiant">https://www.lcsqa.org/fr/rapport/guide-methodologique-pour-la-mesure-des-concentrations-en-ammoniac-dans-lair-ambiant</a>). Deux méthodes mises en œuvre actuellement : préleveurs passifs à géométrie radiale ou de type badge (en application de la NF EN 17346) et analyseurs automatiques par spectrométrie d'absorption proche-infrarouge en cavité optique haute finesse.</p>
Dioxyde d'azote	<p>Règlementé en air ambiant, deux normes ont été identifiées pour la mesure du dioxyde d'azote :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ISO 6768:1998 (Air ambiant - Détermination de la concentration en masse de dioxyde d'azote, méthode de Griess-Saltzman modifiée). Dernier examen en 2022.</li> <li>• NF EN 14211 2012 (Air ambiant - Méthode normalisée pour le mesurage de la concentration en dioxyde d'azote et monoxyde d'azote par chimiluminescence). La méthode s'applique à la détermination de la concentration en dioxyde d'azote présent dans l'air ambiant jusqu'à 500 µ.m-3. La méthode couvre la détermination des concentrations dans les zones classées comme zones rurales, urbaines de fond, proches d'axes de circulation automobile et influencées par des sources industrielles.</li> </ul>
Ions nitrates et composés	<p>Les ions nitrates font l'objet de la « stratégie nationale de surveillance » dans le cadre de l'Arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant (liste 1.2.a. composés inorganiques pour la spéciation chimique des particules fines et au titre de la convention de Genève sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance).</p> <p>Les aspects techniques et métrologiques de la caractérisation chimique des particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont décrits par le LCSQA (<a href="https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/rapport_drc-10-103334-01095a_cara_aspects_techniques_vf.pdf">https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/rapport_drc-10-103334-01095a_cara_aspects_techniques_vf.pdf</a>). Ces techniques d'analyses sont mises en œuvre dans le cadre du programme CARA. Les anions (Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) et cations (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>) sont analysés par chromatographie ionique après minéralisation dans l'eau, en application des normes NF EN ISO 10304 (Qualité de l'eau - Dosage des anions dissous par chromatographie des ions en phase liquide - Partie 1 : dosage du bromure, chlorure, fluorure, nitrate, nitrite, phosphate et sulfate) et NF EN ISO 14911 (Qualité de l'eau - Dosage par chromatographie ionique, des ions Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup> et Ba<sup>2+</sup> dissous).</p>

LCSQA : Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air.

Hydrocarbures	
<b>1,3-butadiène</b>	<p>Le 1,3 butadiène n'est pas réglementé dans le cadre de la surveillance de la qualité de l'air en France mais l'est dans d'autres pays (Hongrie et Grande Bretagne) (Anses 2018a).</p> <p>Il existe une note technique du LCSQA (2021) (<a href="https://www.lcsqa.org/fr/rapport/polluants-emergents-13-butadiene-les-methodes-disponibles-pour-la-determination-des">https://www.lcsqa.org/fr/rapport/polluants-emergents-13-butadiene-les-methodes-disponibles-pour-la-determination-des</a>) décrivant les méthodes disponibles pour la détermination des concentrations et niveaux rencontrés dans l'air ambiant : 1) méthodes par prélèvement actif ou passif sur un adsorbant puis analyse TD/CG/SM ou TD/CG/FID ; 2) méthode par prélèvement actif par canister ; 3) méthodes automatiques. Les préleveurs passifs risquent de ne pas être assez sensibles pour mesurer correctement les bas niveaux de concentration en 1,3-butadiène (i.e. &lt; 0,006 µg.m<sup>-3</sup>).</p>
<b>Benzène</b>	<p>Le benzène est règlementé dans l'air ambiant et plusieurs normes concernant sa mesure ont été identifiées :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• NF EN 14662 2005 (Qualité de l'air ambiant - Méthode normalisée pour le mesurage des concentrations en benzène - Partie 4 : échantillonnage par diffusion suivi d'une désorption thermique et d'une chromatographie en phase gazeuse)</li> <li>• NF EN 14662-3 2015 (Qualité de l'air ambiant - Méthode normalisée pour le mesurage de la concentration en benzène - Partie 3 : prélèvement par pompage automatique avec analyse chromatographique en phase gazeuse sur site)</li> <li>• NF EN 14662-5 2005 (Qualité de l'air ambiant - Méthode normalisée pour le mesurage de la concentration de benzène - Partie 5 : prélèvement par diffusion suivi d'une désorption au solvant et d'une chromatographie gazeuse)</li> <li>• NF EN ISO 16017-2 2003 (Air intérieur, air ambiant et air des lieux de travail: Echantillonnage et analyse des COV par tube à adsorption/désorption thermique/chromatographique en phase gazeuse sur capillaire. Partie2 : échantillonnage par diffusion). Les débits de prélèvement donnés dans cette norme sont très utilisés compte tenu de son champ d'application large.</li> </ul> <p>Le LCSQA (2005) (<a href="https://www.lcsqa.org/fr/rapport/2005/ineris/mesures-btx-prelevements-tubes">https://www.lcsqa.org/fr/rapport/2005/ineris/mesures-btx-prelevements-tubes</a>) a testé et comparé deux des cinq méthodes préconisées par la NF EN 14662. Les résultats obtenus montrent un bon comportement des laboratoires pour l'analyse des BTX, incluant benzène, toluène et xylènes. Il est néanmoins difficile de se prononcer quant à la pertinence d'utiliser une méthode par rapport à une autre.</p>
<b>Éthylbenzène</b>	<p>L'éthylbenzène font l'objet de la « stratégie nationale de surveillance » dans le cadre de l'Arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant (liste 1.2d).</p> <p>Une norme concernant la mesure de l'éthylbenzène a été identifiée : NF EN ISO 16017-1 2001 (Air intérieur, air ambiant et air des lieux de travail - Échantillonnage et analyse des composés organiques volatils par tube à adsorption/désorption thermique/chromatographie en phase gazeuse sur capillaire - Partie 1 : échantillonnage par pompage).</p> <p>Il existe un guide méthodologique du LCSQA (2019) (<a href="https://www.lcsqa.org/fr/rapport/guide-methodologique-validation-des-donnees-de-mesures-analyse-differee">https://www.lcsqa.org/fr/rapport/guide-methodologique-validation-des-donnees-de-mesures-analyse-differee</a>) pour la mesure différée des BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes).</p>

Hydrocarbures	
<b>Benzo[a]anthracène et benzo[a]pyrène</b>	<p>Ces polluants sont suivis dans le cadre de la Directive 2004/107/CE. Plusieurs normes concernant leur mesure ont été identifiées :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• NF EN 15980 2011 (Qualité de l'air - Détermination du benzo[a]anthracène, benzo[b]fluoranthène, benzo[j]fluoranthène, benzo[k]fluoranthène, benzo[a]pyrène, dibenz[a,h]anthracène et indeno[1,2,3-cd]pyrène dans les dépôts atmosphériques). Ce document spécifie une méthode de détermination du dépôt total de ces polluants, qui peut être utilisée dans le cadre de la Directive 2004/107/CE, et des exigences relatives aux performances auxquelles la méthode doit se conformer afin de répondre aux objectifs de qualité des données indiqués dans cette Directive.</li><li>• XP CEN/TS 16645 2014 (Air ambiant - Mesurage pour la mesure de benz[a]anthracène, benzo[b]fluoranthène, benzo[j]fluoranthène, benzo[k]fluoranthène, dibenz[a,h]anthracène, indéno[1,2,3-cd]pyrène et benzo[ghi]perylène). Le document spécifie une méthode de mesure pour la détermination de la concentration des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) particuliers dans l'air ambiant, qui peut être utilisée dans le cadre de la Directive 2008/50/CE et de la Directive 2004/107/CE.</li><li>• NF EN 15549 2008 (Qualité de l'air - Méthode normalisée pour le mesurage de la concentration du benzo[a]pyrene dans l'air ambiant). Le document spécifie une méthode de mesure permettant de déterminer la concentration de benzo[a]pyrène dans l'air ambiant. Il spécifie les caractéristiques et les critères de performance pour la méthode de mesure lorsque celle-ci est utilisée comme méthode de référence.</li></ul> <p>Il existe un guide méthodologique du LCSQA (<a href="https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/lcsqa_guide_methodologique_hap_novembre_2015_vf.pdf">https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/lcsqa_guide_methodologique_hap_novembre_2015_vf.pdf</a>) pour la surveillance des HAP dans l'air ambiant et dans les dépôts. Il décrit la mise en œuvre de la NF EN 15549 2008.</p>

Hydrocarbures	
<b>Anthracène, fluoranthène, naphthalène, phénanthrène et pyrène</b>	<p>Plusieurs normes ont été identifiées concernant le mesure de ces hydrocarbures :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ISO 12884:2000 (Air ambiant - Dosage des hydrocarbures aromatiques polycycliques totales (phase gazeuse et particulaire) - Prélèvement sur filtres à sorption et analyse par chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie en masse). Validé sur 24 heures. Nécessite des moyens de prélèvements de grande capacité (100 à 250 L.min<sup>-1</sup>). Permet de détecter des concentrations de HAP de 0,05 ng.m<sup>-3</sup> ou inférieures avec des volumes d'échantillonnages de 350 m<sup>3</sup>. Méthode revue en 2020. Vingt-deux HAP sont concernés.</li> <li>• ISO 16362:2005 - Air ambiant - Détermination des particules d'hydrocarbures aromatiques polycycliques par chromatographie liquide à haute performance. Méthode revue en 2022. Phase particulaire uniquement (filtre), ce qui est problématique pour l'anthracène.</li> <li>• NF ISO 11338-1 (2005) : Émissions de sources fixes - Détermination des hydrocarbures aromatiques polycycliques sous forme gazeuse et particulaire - Partie 1 : échantillonnage</li> <li>• NF ISO 11338-2 (2004) : Émissions de sources fixes - Détermination des hydrocarbures aromatiques polycycliques sous forme gazeuse et particulaire - Partie 2 : préparation des échantillons, purification et détermination.</li> </ul> <p>L'anthracène, le fluoranthène, le naphthalène, le phénanthrène et le pyrène n'étant pas visés par la Directive 2004/107/CE, ils ne sont pas mentionnés dans le guide méthodologique LCSQA pour la surveillance des HAP dans l'air ambiant et dans les dépôts (cf. benzo[a]anthracène et benzo[a]pyrène).</p> <p>La méthode proposée par l'US EPA, la méthode TO-13A (<a href="https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-11/documents/to-13arr.pdf">https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-11/documents/to-13arr.pdf</a>) pour la mesure des HAP dans l'air ambiant, recommande un prélèvement sur filtre et adsorbant XAD 2 en série pour la phase vapeur et particulaire de ces composés. Pour le naphthalène, il est recommandé un prélèvement sur XAD2, ce composé étant en phase vapeur.</p> <p>Les méthodes Metropol M-332 (<a href="https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_332">https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_332</a>) et Metropol M-188 (<a href="https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_188">https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_188</a>) ont été identifiées pour la mesure des HAP dans l'air des lieux de travail. Les données de validation disponibles pour la méthode Metropol M-188 montrent des domaines de validité se chevauchant avec les concentrations de HAP observées en air ambiant. Pour le pyrène, la méthode Metropol M-235 (<a href="https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_325">https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_325</a>) permet d'atteindre des concentrations observées en air ambiant.</p>

HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques ; LCSQA : Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air.

Métaux et leurs composés	
<b>Arsenic et nickel</b>	<p>Le nickel et l'arsenic sont réglementés dans le cadre des directives européennes 2008/50/CE et 2004/107/CE modifiée par la 2015/1480/CE. Une norme concernant la mesure de ce polluant dans l'air ambiant a été identifiée : NF EN 14902 2005 (Qualité de l'air ambiant - Méthode normalisée pour la mesure de l'arsenic, du cadmium, du nickel et du plomb dans la fraction PM<sub>10</sub>).</p> <p>Il existe une note technique du LCSQA (2016) (<a href="https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/lcsqa2016-surveillance_des_métaux_lourds.pdf">https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/lcsqa2016-surveillance_des_métaux_lourds.pdf</a>) pour la surveillance des métaux dans les particules en suspension, suivant la méthode de référence de la NF EN 14902.</p>

<b>Métaux et leurs composés</b>	
<b>Antimoine, baryum, cobalt, cuivre, fer, manganèse, vanadium et zinc</b>	<p>Ces métaux ne sont pas réglementés dans l'air ambiant. Certains d'entre eux font l'objet de la « stratégie nationale de surveillance » dans le cadre de l'Arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant au titre de la convention de Genève sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (fer dans les poussières minérales et cuivre et zinc dans l'air).</p> <p>Le LCSQA a démontré que l'application de la NF EN 14902 2005 relative à la mesure de l'arsenic, du cadmium, du nickel et du plomb dans les PM<sub>10</sub> était appropriée pour d'autres éléments, incluant antimoine, baryum, cobalt, chrome, cuivre, fer, manganèse, vanadium et zinc (résultat cité dans <a href="https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/lcsqa2016-surveillance_des_métaux_lourds.pdf">https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/lcsqa2016-surveillance_des_métaux_lourds.pdf</a>).</p>
<b>Chrome</b>	<p>Le chrome n'est pas réglementé dans l'air ambiant. Il fait l'objet de la « stratégie nationale de surveillance » dans le cadre de l'Arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant au titre de la convention de Genève sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance.</p> <p>Le LCSQA a démontré que l'application de la NF EN 14902 2005 relative à la mesure de l'arsenic, du cadmium, du nickel et du plomb dans les PM<sub>10</sub> (faisant intervenir un mélange d'acide nitrique et d'eau oxygénée) n'est pas appropriée pour la mesure du chrome (résultat cité dans <a href="https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/lcsqa2016-surveillance_des_métaux_lourds.pdf">https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/lcsqa2016-surveillance_des_métaux_lourds.pdf</a>).</p>
<b>Aluminium, étain et titane</b>	<p>Ces métaux ne sont pas réglementés dans l'air ambiant. L'aluminium dans les poussières minérales fait l'objet de la « stratégie nationale de surveillance » dans le cadre de l'Arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant au titre de la convention de Genève sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance.</p> <p>Les méthodes suivantes ont été recensées pour la mesure de ces métaux dans l'air des lieux de travail :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Metropol M-120 ( <a href="https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_120">https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_120</a>),</li> <li>• Metropol M-121 ( <a href="https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_121">https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_121</a>),</li> <li>• Metropol M-122 ( <a href="https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_122">https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_122</a>),</li> <li>• Metropol M-124 ( <a href="https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_124">https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_124</a>),</li> <li>• Metropol M-125 ( <a href="https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_125">https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_125</a>).</li> </ul> <p>Pour l'aluminium et l'étain, les données de validation disponibles montrent que le domaine de validité de ces méthodes reste supérieur aux niveaux de concentrations traditionnellement observés en air ambiant. Ces niveaux seraient atteignables sous réserve de modification des conditions de prélèvement (par exemple, augmentation de la durée voire du débit) ou d'utilisation d'une méthode de détection plus sensible. Pour le titane, les données disponibles sont trop limitées pour permettre la comparaison des domaines de validité avec les niveaux de concentrations en air ambiant.</p>

LCSQA : Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air.



Particules et composés	
<b>Carbone suie</b>	<p>Le carbone suie n'est pas réglementé dans l'air ambiant. Plusieurs normes ont été identifiées concernant sa mesure dans l'air ambiant ou l'air des lieux de travail :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>NF EN 16909 (2017) (Air ambiant - Mesurage du carbone élémentaire et du carbone organique prélevés sur filtre) ;</li> <li>NF EN 12341 (2014) (Air ambiant - Méthode normalisée de mesurage gravimétrique pour la détermination de la concentration massique PM<sub>10</sub> ou PM<sub>2,5</sub> de matière particulaire en suspension) ;</li> <li>NF EN 14530 2004 (Air des lieux de travail - Dosage des matières particulaires émises par les moteurs diesel - Exigences générales).</li> </ul> <p>Il n'existe pas à l'heure actuelle de méthode d'analyse de référence pour la fraction carbonée des particules dans l'air ambiant. Néanmoins, il existe un guide méthodologique du LCSQA (2018) (<a href="https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/lcsqa2016-guide_methodologique_ae33_drc-17-167619-09507b.pdf">https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/lcsqa2016-guide_methodologique_ae33_drc-17-167619-09507b.pdf</a>) pour la mesure du « carbone suie » par aethalomètre multi longueur d'onde AE33. Le carbone élémentaire, un autre marqueur de la fraction carbonée des particules, est surveillé en routine dans le programme CARA « caractérisation chimique des particules » (<a href="https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/rapport_drc-10-103334-01095a_cara_aspects_techniques_vf.pdf">https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/rapport_drc-10-103334-01095a_cara_aspects_techniques_vf.pdf</a>).</p>
<b>Particules ultrafines</b>	<p>Les particules ultrafines ne sont pas réglementées en air ambiant. Plusieurs normes ont été identifiées concernant leur mesure dans l'air ambiant :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>XP CEN/TS 16976 2016 (annulée) (Air ambiant - Détermination de la concentration en nombre de particules de l'aérosol atmosphérique)</li> <li>XP CEN/TS 17434 2020 (Air ambiant - Détermination de la distribution granulométrique de particules d'un aérosol atmosphérique à l'aide d'un spectromètre de granulométrie à mobilité électrique)</li> <li>NF EN 16976 (2024) (Air ambiant - Détermination de la concentration en nombre de particules de l'aérosol atmosphérique).</li> </ul> <p>Il existe une note technique du LCSQA (2019) (<a href="https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/LCSQA_Note_technique_PUF_09avril2019.pdf">https://www.lcsqa.org/system/files/media/documents/LCSQA_Note_technique_PUF_09avril2019.pdf</a>) pour la mesure des particules ultrafines au sein du dispositif national de surveillance de la qualité de l'air. Trois méthodes sont considérées : le compteur CPC (<i>Condensation Particle Counter</i>), le spectromètre MPSS (<i>Mobility Particle Size Spectrometer</i>) et le granulomètre UFP 3031. La méthode CPC est associée à la NF EN 16976. Dans une autre note technique, le LCSQA (<a href="https://www.lcsqa.org/fr/rapport/strategie-de-surveillance-nationale-de-la-concentration-en-nombre-totale-des-particules">https://www.lcsqa.org/fr/rapport/strategie-de-surveillance-nationale-de-la-concentration-en-nombre-totale-des-particules</a>) propose de privilégier la mesure de la concentration totale en nombre de particules fines à l'aide de compteurs à noyaux de condensation, répondant aux spécifications techniques de CEN/TS 16976.</p>
<b>PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub></b>	<p>Les PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont réglementés dans l'air ambiant par les directives européennes 1999/30/CE. Des normes ont été identifiées pour leur mesure dans l'air ambiant :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>NF EN 12341 2014 (Air ambiant - Méthode normalisée de mesurage gravimétrique pour la détermination de la concentration massique PM<sub>10</sub> ou PM<sub>2,5</sub> de matière particulaire en suspension) ;</li> <li>NF EN 16450 2017 (Air ambiant - Systèmes automatisés de mesurage de la concentration de matière particulaire (PM<sub>10</sub> ; PM<sub>2,5</sub>)).</li> </ul> <p>Il existe des guides méthodologiques du LCSQA pour la surveillance des PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> dans l'air ambiant par méthode optique FIDAS (<a href="https://www.lcsqa.org/fr/rapport/guide-methodologique-pour-la-surveillance-des-pm10-et-pm25-dans-lair-ambiant-par-methode">https://www.lcsqa.org/fr/rapport/guide-methodologique-pour-la-surveillance-des-pm10-et-pm25-dans-lair-ambiant-par-methode</a>) et par méthode TEOM-FDMS (<a href="https://www.lcsqa.org/fr/rapport/2016/ineris/guide-methodologique-surveillance-pm10-pm25-teom-fdms-air-ambiant">https://www.lcsqa.org/fr/rapport/2016/ineris/guide-methodologique-surveillance-pm10-pm25-teom-fdms-air-ambiant</a>).</p>

LCSQA : Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air.

### Annexe 3 : Donnée collectées pour documenter la spécificité vis-à-vis de la source trafic routier et de la population cible

	Aldéhydes	Critères additionnels	
	Critère clé	Secteurs contributeurs aux émissions totales nationales	Existence de facteur d'émission
	Comparaison des concentrations en situation de proximité trafic et en situation de fond pour le polluant		
Acétaldéhyde	<p>Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : concentrations mesurées significativement plus élevées sur le fond urbain, médianes (IQR) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Site trafic : 0,59 µg.m<sup>-3</sup> (0,39 - 0,85)</li> <li>• Fond urbain : 1,01 µg.m<sup>-3</sup> (0,80 - 1,27)</li> </ul> <p>AirParif (2020)<sup>29</sup> : moyennes annuelles mesurées en 2019 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trafic : de 1,9 à 2 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>• Fond urbain : 1,9 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Anses (2018a) : moyennes des concentrations moyennes selon type d'influence, recueillies par consultation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Influence trafic : 1,7 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>• Pas d'influence : 1,3 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Certu-Cete de Lyon (2013), mesures en Rhône Alpe de 2007 à 2011 : <b>Les concentrations mesurées en situation trafic, industrielle ou de fond urbain sont du même ordre de grandeur.</b> (...) Les concentrations mesurées en air intérieur sont plus élevées qu'en air extérieur (deux à sept fois plus élevées pour l'acétaldéhyde et le formaldéhyde).</p> <p>Atmo Occitanie<sup>30</sup> : concentrations moyennes en avril-mai 2017 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Site trafic : 1,0 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>• Site fond urbain : 0,9 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Atmo Auvergne Rhône Alpes<sup>31</sup> : campagne de mesure en 2019 et 2020 avec des sites trafic et urbains (les sites de la zone industrielle ne sont pas considérés dans ces chiffres) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sites trafic : entre 0,8 et 1,1 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>• Sites urbains : entre 0,6 et 1,2 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul>	<p>La pollution photochimique ou photooxydante est un ensemble de phénomènes complexes conduisant à la formation d'ozone et d'autres composés oxydants (tels que les aldéhydes) à partir de polluants primaires appelés précurseurs (Citepa 2022).</p> <p>Le transport routier représente 14% des émissions totales d'aldéhydes en France en 2015 (derrière le secteur résidentiel/tertiaire qui contribue à 71,4%) (Citepa 2017).</p>	Oui (Cerema 2024, Copert 2024)
Acroléine	<p>Certu-Cete Lyon (2013), mesures en Rhône Alpe de 2007 à 2011 : <b>Les concentrations mesurées en situation trafic, industrielle ou de fond urbain sont du même ordre de grandeur.</b> (...) Les concentrations mesurées en air intérieur sont plus élevées qu'en air extérieur (deux fois plus élevées pour l'acroléine).</p> <p>Atmo Auvergne Rhône Alpes<sup>31</sup> : concentrations d'aldéhydes en 2019 et 2020, l'acroléine n'est pas présentée car <b>les valeurs sont très majoritairement inférieures à la limite de détection</b></p>		Oui (Cerema 2024, Copert 2024)

<sup>29</sup> <https://www.airparif.fr/bilan/2020/bilan-qualite-de-lair-ile-de-france-2019>

<sup>30</sup> <https://www.atmo-occitanie.org/sites/default/files/publications/2018-09/Rapport-ZAC-Sommieres-2017.pdf>

<sup>31</sup> [https://www.atmo-auvergnherhonealpes.fr/sites/aura/files/content/migrated/atoms/files/rapport\\_final\\_qa\\_inspira\\_2019-2020\\_vf.pdf](https://www.atmo-auvergnherhonealpes.fr/sites/aura/files/content/migrated/atoms/files/rapport_final_qa_inspira_2019-2020_vf.pdf)

Aldéhydes		Critères additionnels	
Critère clé		Critères additionnels	
	Comparaison des concentrations en situation de proximité trafic et en situation de fond pour le polluant	Secteurs contributeurs aux émissions totales nationales	Existence de facteur d'émission
Formaldéhyde	<p>Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : concentrations mesurées significativement plus élevées en proximité trafic (sur les 12 carbonyles mesurés, seuls le formaldéhyde et l'acétone montraient des concentrations plus élevées en proximité trafic), médianes (IQR) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 1,56 µg.m<sup>-3</sup> (1,03 - 0,2,26)</li> <li>Fond urbain : 1,06 µg.m<sup>-3</sup> (0,77 - 1,41)</li> </ul> <p>AirParif (2020)<sup>29</sup> : moyennes annuelles mesurées en 2019 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Trafic : de 2,3 à 2,5 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>Fond urbain : 2 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Anses (2018a) : moyennes des concentrations moyennes selon type d'influence, recueillies par consultation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : 2,5 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>Pas d'influence : 1,81 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Certu-Cete Lyon (2013), mesures en Rhône Alpes de 2007 à 2011 : <b>Les concentrations mesurées en situation trafic, industrielle ou de fond urbain sont du même ordre de grandeur. (...)</b> Les concentrations mesurées en air intérieur sont plus élevées qu'en air extérieur (2 à 7 fois plus élevées pour l'acétaldéhyde et le formaldéhyde).</p> <p>Atmo Occitanie<sup>30</sup> : concentrations moyennes en avril-mai 2017 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 1,7 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>Site fond urbain : 1,3 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Atmo Auvergne Rhône Alpes<sup>31</sup> : campagne de mesure en 2019 et 2020 avec des sites trafic et urbains (les sites de la zone industrielle ne sont pas considérés dans ces chiffres) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sites trafic : entre 1,4 et 1,9 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>Sites urbains : entre 0,9 et 1,5 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul>	<p>La pollution photochimique ou photooxydante est un ensemble de phénomènes complexes conduisant à la formation d'ozone et d'autres composés oxydants (tels que les aldéhydes) à partir de polluants primaires appelés précurseurs (Citepa 2022).</p> <p>Le transport routier représente 14% des émissions totales d'aldéhydes en France en 2015 (derrière le secteur résidentiel/tertiaire qui contribue à 71,4%) (Citepa 2017).</p>	<p>Oui (Cerema 2024, Copert 2024)</p>
Propionaldéhyde	<p>Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : pas de différence statistiquement significative entre les concentrations mesurées en proximité trafic et en situation de fond, médianes (IQR) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 0,07 µg.m<sup>-3</sup> (0,04 - 0,12)</li> <li>Fond urbain : 0,07 µg.m<sup>-3</sup> (0,04 - 0,10)</li> </ul> <p>Certu-Cete Lyon (2013), mesures en Rhône Alpe de 2007 à 2011 : <b>Les concentrations mesurées en situation trafic, industrielle ou de fond urbain sont du même ordre de grandeur. (...)</b> Les concentrations mesurées en air intérieur sont plus élevées qu'en air extérieur (3 à 5 fois plus élevées pour le propionaldéhyde).</p> <p>Atmo Auvergne Rhône Alpes<sup>31</sup> : campagne de mesure en 2019 et 2020 avec des sites trafic et urbains (les sites de la zone industrielle ne sont pas considérés dans ces chiffres) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sites trafic : entre 0,3 et 0,4 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>Sites urbains : entre 0,2 et 0,5 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul>		<p>Non inclus dans Cerema (2024), Copert (2024) ou HBEFA (2022)</p>

IQR : *intervalle interquartile.*

	Composés inorganiques		
	Critère clé	Critères additionnels	
	Comparaison des concentrations en situation de proximité trafic et en situation de fond pour le polluant	Secteurs contributeurs aux émissions totales nationales	Existence de facteur d'émission
Ammoniac	<p><u>Anses (2018a)</u> : moyennes des concentrations moyennes selon type d'influence, recueillies par consultation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Influence trafic : 3,03 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>• Pas d'influence : 3,30 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p><u>Atmo Grand-Est</u><sup>32</sup> : concentrations horaires moyennes, avec de grandes variations saisonnières :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trafic : 5,8 µg.m<sup>-3</sup> (de 3,6 à 9,1 µg.m<sup>-3</sup> en variation saisonnière)</li> <li>• Fond : 4,5 µg.m<sup>-3</sup> (de 2,3 à 8,1 µg.m<sup>-3</sup> en variation saisonnière)</li> </ul> <p><u>Air Breizh</u><sup>33</sup> : à Rennes, les résultats obtenus en station urbaine trafic sont <b> systématiquement supérieurs au niveau de la station urbaine de fond </b></p> <p><u>AirParif (2020)</u><sup>29</sup> : concentrations moyennes annuelles mesurées en 2019 sur deux sites :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Influence trafic : 5 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>• Fond : 3 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p><u>Atmo Nouvelle Aquitaine</u><sup>34</sup> : concentrations moyennes [min-max] en 2022 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Site trafic 1 : 3,49 [2,3 - 4,5] µg.m<sup>-3</sup></li> <li>• Site trafic 2 : 2,90 [0,96 - 5,09] µg.m<sup>-3</sup></li> <li>• Site urbain : 2,26 [0,42 - 3,89] µg.m<sup>-3</sup></li> </ul>	En 2020, 93% des émissions d'ammoniac étaient liées à l'agriculture et sylviculture (effluents d'élevage, engrais azotés minéraux) (Citepa 2022). Le secteur des transports ne représentait que 1%.	Oui (Cerema 2024, HBEFA 2022)
	<p>Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : concentrations mesurées significativement plus élevées en bord de route et fortement corrélées au trafic, médianes (IQR) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Site trafic : 51,8 µg.m<sup>-3</sup> (40,5 - 63,0)</li> <li>• Fond urbain : 19,2 µg.m<sup>-3</sup> (14,8 - 27,7)</li> </ul> <p><u>Anses (2012)</u> : p75 moyen des concentrations annuelles en France, 2007-2009 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trafic : 55,7 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>• Urbain : 29,0 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>• Péri urbain : 26,7 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p><u>Atmo Occitanie (2018)</u><sup>30</sup> : concentration moyennes en avril-mai 2017 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trafic : 18 µg.m<sup>-3</sup> (peu fréquenté : 1 000 véhicules par jour)</li> <li>• Fond urbain : 5 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul>		

<sup>32</sup> <https://doi.org/10.3390/atmos13071032>

<sup>33</sup> [https://www.airbreizh.asso.fr/voy\\_content/uploads/2021/09/air-breizh-rapport-nh3\\_prse\\_v21092021.pdf](https://www.airbreizh.asso.fr/voy_content/uploads/2021/09/air-breizh-rapport-nh3_prse_v21092021.pdf)

<sup>34</sup> <https://www.atmo-nouvelleaquitaine.org/publications/mesures-regionales-de-lammoniac-et-du-13-butadiene-campagne-2022>

Composés inorganiques		Critères additionnels	
Critère clé		Critères additionnels	
	Comparaison des concentrations en situation de proximité trafic et en situation de fond pour le polluant	Secteurs contributeurs aux émissions totales nationales	Existence de facteur d'émission
Ions nitrates et composés	Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : concentrations en <b>ions nitrates</b> significativement plus élevées en bord de route, médianes (IQR) : <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 476 ng.m<sup>-3</sup> (358 - 788)</li> <li>Fond urbain : 364 ng.m<sup>-3</sup> (271 - 526)</li> </ul> Anses (2018a) : moyennes des concentrations moyennes en <b>ions nitrates</b> selon type d'influence, recueillies par consultation : <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : 1431,66 ng.m<sup>-3</sup> (2 données uniquement)</li> <li>Pas d'influence : 3,2 ng.m<sup>-3</sup></li> </ul>	Ions nitrates non estimés dans les inventaires nationaux. Le nitrate est un composé secondaire formé dans l'atmosphère à partir de composés primaires émis sous forme gazeuse (ammonium et oxydes d'azote, également considérés dans l'expertise) (LCSQA 2017c).	Non inclus dans Cerema (2024), Copert (2024) ou HBEFA (2022)

IQR : intervalle interquartile.

Hydrocarbures		Critères additionnels	
Critère clé		Critères additionnels	
	Comparaison des concentrations en situation de proximité trafic et en situation de fond pour le polluant	Secteurs contributeurs aux émissions totales nationales	Existence de facteur d'émission
1,3-butadiène	Certu-Cete de Lyon (2013) : Les concentrations mesurées sont équivalentes en situation de fond urbain et en situation trafic. Elles sont, pour l'air intérieur, entre 2 et 3 fois plus importantes qu'en air extérieur. Concentrations moyennes (min-max) sur période 2007-2011 : <ul style="list-style-type: none"> <li>Trafic : 0,23 (0,02-1,55) µg.m<sup>-3</sup></li> <li>Urbain/périurbain : 0,20 (0,00-11,20) µg.m<sup>-3</sup></li> </ul> Anses (2018a) : moyennes des concentrations moyennes selon type d'influence, recueillies par consultation : <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : 0,086 µg.m<sup>-3</sup> (une seule donnée)</li> <li>Pas d'influence : 0,12 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul> Atmo Nouvelle Aquitaine <sup>34</sup> : concentrations moyennes [min-max] en 2022 : <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic 1 : 0,29 [0,11-0,56] µg.m<sup>-3</sup></li> <li>Site trafic 2 : 0,14 [0,04-0,25] µg.m<sup>-3</sup></li> <li>Site trafic 3 : 0,17 [0,06-0,27] µg.m<sup>-3</sup></li> <li>Site urbain : 0,14 [0,04-0,31] µg.m<sup>-3</sup></li> </ul> Atmo Sud <sup>35</sup> , campagne de mesure de deux mois (été et hiver) en 2007, moyennes : <ul style="list-style-type: none"> <li>site trafic : 0,25 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>site fond : 0,20 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul>	En 2015, le secteur résidentiel/tertiaire représentait 61,0% des émissions totales d'alcènes (incluant 1,3 butadiène) en France (Citepa 2017). L'industrie manufacturière est seconde source la plus émettrice avec 20,3%. En 2015, le transport routier représentait 10,5% des émissions totales d'alcènes (incluant 1,3 butadiène) en France (Citepa 2017).	Oui (Cerema 2024)

<sup>35</sup> <https://www.atmosud.org/publications/aix-en-provence-etude-de-la-qualite-de-lair-autour-de-la-rd9-ete-et-hiver-2007>

Hydrocarbures			
Critère clé		Critères additionnels	
Comparaison des concentrations en situation de proximité trafic et en situation de fond pour le polluant		Secteurs contributeurs aux émissions totales nationales	Existence de facteur d'émission
anthracène	<p>Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : concentrations mesurées significativement plus élevées en bords de routes et significativement corrélées avec le trafic, médianes (IQR) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 0,0099 ng.m<sup>-3</sup> (0,0063-0,0137)</li> <li>Fond urbain : 0,0040 ng.m<sup>-3</sup> (0,0029-0,0056)</li> </ul> <p>Anses (2018a) : moyennes des concentrations moyennes selon type d'influence, recueillies par consultation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : 0,66 ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Pas d'influence : 0,68 ng.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Slezakova <i>et al.</i> (2010) : Portugal, 2008, ratio des concentrations entre situation trafic et situation fond ~19.</p> <p>Moyennes [min-max] des concentrations (mesurées au sein de la fraction PM<sub>2,5</sub> - conclusions similaires si PM<sub>10</sub>) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Trafic : 609 [60,9 - 2 440] pg.m<sup>-3</sup></li> <li>Fond rural : 35,8 [0,077 - 66,2] pg.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Ćwiklak, Pastuszka et Rogula-Kozłowska (2009) : Pologne, été 2005, <b>surconcentrations des HAP dans les PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> en situation trafic par rapport à la situation fond</b></p> <p>Manoli <i>et al.</i> (2016) : Grèce, été et hiver 2016, <b>surconcentrations systématiques des HAP (dont anthracène) en proximité trafic par rapport à la situation de fond</b></p>	<p><i>Anthracène non estimé dans les inventaires nationaux mais approximation faite à partir des chiffres pour les HAP totaux.</i></p> <p>Sur les années récentes le secteur résidentiel reste la source majoritaire de HAP (Citepa 2022). Les rejets de HAP sont principalement pilotés par la combustion du bois et de produits assimilés.</p> <p>En France en 2020, 6% des émissions totales de HAP sont liés au secteur des transports et 85% des émissions totales sont liés au secteur de l'usage des bâtiments et activités résidentielles/tertiaires (Citepa 2022).</p>	<p>Non inclus dans Cerema (2024), Copert (2024) ou HBEFA (2022)</p>
Benzène	<p>Anses (2012) : p75 moyen des concentrations annuelles en France sur la période 2007-2009 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Trafic : 1,75 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>Fond urbain : 1,22 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>Fond périurbain : 1,00 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Anses (2012) : p98 des concentrations journalières en France :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Trafic : 5,2 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>Fond périurbain : 3,2 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Anses (2012) : concentrations annuelles moyennes sur la période 2002-2005 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Trafic : [1,5 - 4] µg.m<sup>-3</sup></li> <li>Fond urbain : [1 - 2,2] µg.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>AirParif (2020)<sup>29</sup> : concentrations annuelles de benzène mesurées de 2007 à 2019 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : de 1,8 à 3,4 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>Fond : de 0,9 à 1,4 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Certu-Cete de Lyon (2013) : concentrations moyennes (min-max) en µg.m<sup>-3</sup> sur période 2007-2011 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Trafic : 1,28 (0,26 - 8,04)</li> <li>Urbain/périurbain : 1,25 (0,00 - 17,09)</li> <li>Ext trafic : 1,59 (0,26 - 6,23)</li> <li>Ext urbain : 1,62 (0,10 - 37,81)</li> </ul> <p>Atmo Occitanie (2018)<sup>30</sup> : min et max des concentrations moyennes mesurées en mai 2017 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Trafic (12 sites) : entre 0,6 et 1,3 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>Fond urbain (8 sites) : entre 0,5 et 0,7 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul>	<p>En France métropolitaine en 2020, le secteur des transports (incluant routier) représentait 27% des émissions de benzène (Citepa 2022). Le transport routier représentait la moitié. En comparaison, le secteur de l'usage des bâtiments et activités résidentielles/tertiaires représentait 51% des émissions totales nationales.</p>	<p>Oui (Cerema 2024, Copert 2024, HBEFA 2022)</p>

Hydrocarbures			
Critère clé		Critères additionnels	
Comparaison des concentrations en situation de proximité trafic et en situation de fond pour le polluant		Secteurs contributeurs aux émissions totales nationales	Existence de facteur d'émission
benzo(a)anthracène	<p>Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : concentrations mesurées significativement plus élevées en proximité trafic mais pas de corrélation avec le trafic, médianes (IQR) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 0,087 ng.m<sup>-3</sup> (0,063 - 0,156)</li> <li>Fond urbain : 0,049 ng.m<sup>-3</sup> (0,024 - 0,088)</li> </ul> <p>Anses (2018a) : moyennes des concentrations moyennes selon type d'influence, recueillies par consultation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : 0,28 ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Pas d'influence : 0,31 ng.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Ćwiklak, Pastuszka et Rogula-Kozłowska (2009) : Pologne, été 2005, HAP dans les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2,5</sub> : surconcentrations en situation trafic par rapport à la situation fond</p> <p>Manoli <i>et al.</i> (2016) : Grèce, été et hiver 2016, surconcentrations systématiques des HAP (dont benzo(a)anthracène) en proximité trafic par rapport à la situation de fond</p> <p>Air Breizh<sup>36</sup> : concentrations moyennes annuelles communément observées en Europe (~1990-2000) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>trafic : 0,6 à 4,2 ng.m<sup>-3</sup></li> <li>urbain : 0,2 à 1,3 ng.m<sup>-3</sup></li> </ul>	<p>Sur les années récentes le secteur résidentiel reste la source majoritaire de HAP (Citepa 2022). Les rejets de HAP sont principalement pilotés par la combustion du bois et de produits assimilés.</p> <p>En 2020, le benzo(a)anthracène constitue le deuxième HAP le plus présent (après le fluoranthène) dans les rejets du secteur transports incluant routier (Citepa 2022).</p> <p>En 2015, le transport routier représentait 24% des émissions totales de benzo(a)anthracène (derrière le secteur résidentiel/tertiaire à 67,5%) (Citepa 2017).</p>	<p>Non inclus dans Cerema (2024), Copert (2024) ou HBEFA (2022)</p>
	benzo(a)pyrène		

<sup>36</sup> [https://www.airbreizh.asso.fr/voy\\_content/uploads/2018/04/hap-rennes-2006-2007.pdf](https://www.airbreizh.asso.fr/voy_content/uploads/2018/04/hap-rennes-2006-2007.pdf)



	Hydrocarbures		
	Critère clé	Critères additionnels	
	Comparaison des concentrations en situation de proximité trafic et en situation de fond pour le polluant	Secteurs contributeurs aux émissions totales nationales	
	Existence de facteur d'émission		
Éthylbenzène	<p>Anses (2012) : p98 des concentrations journalières en France :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Trafic : 2,6 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>Périurbain : 1,0 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Anses (2018a) : moyennes des concentrations moyennes selon type d'influence, recueillies par consultation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : 1,08 µg.m<sup>-3</sup> (mesures hebdomadaires)</li> <li>Pas d'influence : 0,42 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Atmo Occitanie<sup>30</sup> : concentrations moyennes mesurées en mai 2017 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Trafic (11 sites) : entre 0,1 et 17,4 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>Fond urbain (7 sites) : 0,2 et 1,4 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>AirParif (2020)<sup>29</sup> : concentrations moyennes annuelles mesurées en 2019 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : de 0,5 à 1,6 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>Fond (3 sites) : 0,3 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul>	<p>En 2020 en France, le secteur de l'agriculture contribuait à 43% des émissions totales de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) (incluant éthylbenzène). Le secteur de l'usage des bâtiments et activités résidentielles/tertiaires représentait 27% tandis que le secteur industrie manufacturière et construction représentait 22%. Le secteur des transports contribuait à 6% aux émissions totales nationales de COVNM.</p>	Oui (Copert 2024)
Fluoranthène	<p>Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : concentrations mesurées significativement plus élevées en proximité trafic et significativement corrélées avec le trafic, médianes (IQR) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 0,235 ng.m<sup>-3</sup> (0,174 - 0,316)</li> <li>Fond urbain : 0,070 ng.m<sup>-3</sup> (0,038 - 0,093)</li> </ul> <p>Manoli <i>et al.</i> (2016) : Grèce, été et hiver 2016, <i>surconcentrations systématiques des HAP (dont fluoranthène) en proximité trafic par rapport à la situation de fond</i></p> <p>Anses (2018a) : moyennes des concentrations moyennes selon type d'influence, recueillies par consultation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : 3,42 ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Pas d'influence : 3,31 ng.m<sup>-3</sup></li> </ul>	<p>En 2020, le fluoranthène est le HAP le plus émis en France pour l'ensemble des secteurs (incluant transport) - à l'exception du secteur du traitement des déchets (Citepa 2022). En 2015, le transport routier contribuait à 30% des émissions de fluoranthène (après le secteur résidentiel/tertiaire à 55,8%) (Citepa 2017).</p>	Non inclus dans Cerema (2024), Copert (2024) ou HBEFA (2022)
Naphtalène	<p>Anses (2018a) : moyennes des concentrations moyennes selon type d'influence, recueillies par consultation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : 0,59 ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Pas d'influence : 0,84 ng.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Certu-Cete de Lyon (2013), mesures en Rhône Alpes sur 2011-2012 : Les concentrations sont similaires en situation trafic ou de fond urbain. Concentrations moyennes (min-max) en ng.m<sup>-3</sup> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Trafic : 0,6 (0,02 - 7,9)</li> <li>Urbain : 0,7 (0,01 - 28,6)</li> <li>Rural régional : 4,1 (0,08 - 24,6)</li> </ul> <p>Slezakova <i>et al.</i> (2010) : Portugal, 2008, ratio des concentrations entre situation trafic et situation fond ~1,5</p> <p>Moyennes [min-max] des concentrations (mesurées au sein de la fraction PM<sub>2,5</sub> - conclusions similaires si PM<sub>10</sub>) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>trafic : 44,5 [12,6 - 105] pg.m<sup>-3</sup></li> <li>fond rural : 24,8 [0,151 - 83,5] pg.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Ćwiklak, Pastuszka et Rogula-Kozłowska (2009) : Pologne, été 2005, HAP dans les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2,5</sub> : <i>surconcentrations en situation trafic par rapport à la situation fond</i></p>	<p><i>Naphtalène non estimé dans les inventaires nationaux mais approximation faite à partir des chiffres d'autres familles de polluants.</i></p> <p>En 2020, le secteur des transports (incluant routier) représentait 6% des émissions totales de HAP en France (Citepa 2022). Une contribution similaire était observée pour les COVNM (certains HAP peuvent être des COVNM lorsqu'ils sont très volatils tels que le naphtalène).</p> <p>En comparaison, le secteur de l'usage des bâtiments et activités résidentielles/tertiaires est le principal émetteur de HAP (85%). Pour les COVNM, le secteur de l'agriculture est le plus contributeur aux émissions nationales (43%).</p>	Non inclus dans Cerema (2024), Copert (2024) ou HBEFA (2022)

Hydrocarbures			
Critère clé		Critères additionnels	
Comparaison des concentrations en situation de proximité trafic et en situation de fond pour le polluant		Secteurs contributeurs aux émissions totales nationales	Existence de facteur d'émission
Phénanthrène	Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : concentrations mesurées significativement plus élevées en proximité trafic, médianes (IQR) : <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 0,131 ng.m<sup>-3</sup> (0,069 - 0,177)</li> <li>Fond urbain : 0,066 ng.m<sup>-3</sup> (0,049 - 0,083)</li> </ul> Anses (2018a) : moyennes des concentrations moyennes selon type d'influence, recueillies par consultation : <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : 9,33 ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Pas d'influence : 8,64 ng.m<sup>-3</sup></li> </ul> Manoli <i>et al.</i> (2016) : Grèce, été et hiver 2016, <b>surconcentrations systématiques des HAP (dont phénanthrène) en proximité trafic par rapport à la situation de fond</b>	Phénanthrène non estimé dans les inventaires nationaux mais approximation faite à partir des chiffres pour les HAP totaux. En France en 2020, 6% des émissions totales de HAP sont liés au secteur des transports et 85% des émissions totales sont liés au secteur de l'usage des bâtiments et activités résidentielles/tertiaires (Citepa 2022).	Non inclus dans Cerema (2024), Copert (2024) ou HBEFA (2022)
	pyrène		

HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques ; IQR : intervalle interquartile.

Métaux			
Critère clé		Critères additionnels	
Comparaison des concentrations en situation de proximité trafic et en situation de fond pour le polluant		Secteurs contributeurs aux émissions totales nationales	Existence de facteur d'émission
Aluminium et composés	Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : Les pics de concentrations sur le fond urbain étaient simultanés aux pics de concentration en zinc, plomb, titane et chrome et <b>déconnectés du trafic routier suggérant une influence industrielle</b> . Concentrations mesurées supérieures en situation trafic mais différence non statistiquement significative, médianes (IQR) : <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 361 ng.m<sup>-3</sup> (240 - 491)</li> <li>Fond urbain : 171 ng.m<sup>-3</sup> (171 - 464)</li> </ul> Anses (2018a) : moyennes des concentrations moyennes selon type d'influence, recueillies par consultation : <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : 86,3 ng.m<sup>-3</sup> [de 0,17 à 156,29]</li> <li>Pas d'influence : 179,4 ng.m<sup>-3</sup> [de 55 à 470]</li> </ul>	Aluminium non estimé dans les inventaires nationaux. En zones urbaines, souvent considéré comme traceur des poussières minérales (LCSQA 2017a).	Non inclus dans Cerema (2024), Copert (2024) ou HBEFA (2022)

	Métaux		
	Critère clé	Critères additionnels	
	Comparaison des concentrations en situation de proximité trafic et en situation de fond pour le polluant	Secteurs contributeurs aux émissions totales nationales	Existence de facteur d'émission
Antimoine et composés	<p>Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : concentrations mesurées significativement plus élevées en bord de route, médianes (IQR):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 4,73 ng.m<sup>-3</sup> (3,19 - 5,69)</li> <li>Fond urbain : 1,50 ng.m<sup>-3</sup> (0,66 - 1,89)</li> </ul> <p>LCSQA (2017b) : pour le cuivre, le baryum et l'antimoine, les maximas de concentrations sont obtenus sur les deux sites de proximité automobile.</p> <p>Anses (2018a) : moyennes des concentrations moyennes selon type d'influence, recueillies par consultation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : 3,1 ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Pas d'influence : 1,3 ng.m<sup>-3</sup></li> </ul>	<p>Antimoine non estimé dans les inventaires nationaux. En zones urbaines, souvent considéré comme traceur des émissions hors-échappement du trafic routier (LCSQA 2017a).</p>	<p>Non inclus dans Cerema (2024), Copert (2024) ou HBEFA (2022)</p>
Arsenic et composés	<p>Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : les concentrations mesurées lors de la campagne ne diffèrent pas de façon statistiquement significative.</p> <p>Anses (2012) : p75 moyen des concentrations annuelles en France, 2007-2009 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Trafic : 0,40 ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Urbain : 0,40 ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Péri urbain : 0,50 ng.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Anses (2012) : concentrations annuelles moyennes 2002-2005 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Trafic : [0,5 - 1,5] ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Fond urbain : [0,4 - 0,9] ng.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Agence Européenne de l'Environnement (2020)<sup>37</sup> : pour l'arsenic, sur les 665 stations dans 28 pays, des dépassements de la valeur cible (6 ng.m<sup>-3</sup>) sont mesurés dans six stations, à la fois sur des sites industriels et en sites urbains de fonds (en Belgique, en Pologne, en Italie et en Allemagne).</p> <p>Atmo Occitanie (2020)<sup>38</sup> : concentrations moyennes annuelles en 2007 et 2019 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic (2007) : 0,9 ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Site urbain (2019) : 0,19 ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Site rural (2019) : 0,2 ng.m<sup>-3</sup></li> </ul>	<p>Le secteur de l'industrie manufacturière et construction représente 36% des émissions totales d'arsenic en France en 2020 (Citepa 2022). La source transports représente quant à elle 31% (le transport routier est presque seul contributeur). Les sources anthropiques citées par Citepa (2022) incluent : combustion de combustibles fossiles solides, de fioul lourd et de carburants ; production de verre ; métallurgie des métaux ferreux et non ferreux.</p>	<p>Oui (Cerema 2024, Copert 2024)</p>
Baryum et composés	<p>Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : concentrations significativement plus élevées en proximité trafic, avec un incrément médian de 37%</p> <p>LCSQA (2017b) : pour le cuivre, le baryum et l'antimoine, les maximas de concentrations sont obtenus sur les deux sites de proximité automobile.</p> <p>Anses (2018a) : moyennes des concentrations moyennes selon type d'influence, recueillies par consultation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : 14,3 ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Pas d'influence : 7,9 ng.m<sup>-3</sup></li> </ul>	<p>Baryum non estimé dans les inventaires nationaux. En zones urbaines, souvent considéré comme traceur des émissions hors-échappement du trafic routier (LCSQA 2017a).</p>	<p>Oui (Cerema 2024, Copert 2024)</p>

<sup>37</sup> <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>

<sup>38</sup> <https://atmo-occitanie.org/sites/default/files/publications/2020-05/ETU-2020-138%20BILAN%202019%20CYDEL.pdf>

	Métaux		
	Critère clé	Critères additionnels	
	Comparaison des concentrations en situation de proximité trafic et en situation de fond pour le polluant	Secteurs contributeurs aux émissions totales nationales	Existence de facteur d'émission
Chrome et composés	<p>Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : concentrations <b>significativement plus élevées en situation trafic par rapport au fond</b> (inférieur à la limite de détection (LD)), médianes (IQR):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 5,8 ng.m<sup>-3</sup> (&lt; LD - 10,4)</li> <li>Fond urbain : &lt; LD</li> </ul> <p>Anses (2012) : concentrations annuelles moyennes, 2002-2005 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Trafic : [6,5 - 8] ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Fond urbain : ~6 ng.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Anses (2018a) : moyennes des concentrations moyennes selon type d'influence, recueillies par consultation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : 4,4 ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Pas d'influence : 4,4 ng.m<sup>-3</sup></li> </ul>	Le transport routier représentait 40% des émissions de chrome en France en 2020 (Citepa 2022), en très forte augmentation depuis 1990 en lien avec une baisse de la contribution d'autres secteurs. En 2020, le secteur industrie (manufacturière et construction) représentait 32% des émissions nationales de chrome.	Oui (Cerema 2024, Copert 2024)
Cobalt et composés	<p>Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : concentrations <b>significativement plus élevées en situation trafic</b> en comparaison du fond urbain mais pas de corrélation avec le trafic, médianes (IQR) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 0,201 ng.m<sup>-3</sup> (0,167 - 0,306)</li> <li>Fond urbain : 0,145 ng.m<sup>-3</sup> (0,093 - 0,171)</li> </ul> <p>Anses (2018a) : moyennes des concentrations moyennes recueillies selon type d'influence, recueillies par consultation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : 0,22 ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Pas d'influence : 0,14 ng.m<sup>-3</sup></li> </ul>	<i>Cobalt non estimé dans les inventaires nationaux.</i> En zones urbaines, souvent considéré comme traceur des émissions hors-échappement du trafic routier (LCSQA 2017a).	Non inclus dans Cerema (2024), Copert (2024) ou HBEFA (2022)
Cuivre et composés	<p>Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : concentrations <b>significativement plus élevées en situation trafic</b> en comparaison du fond urbain, médianes (IQR):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 48,4 ng.m<sup>-3</sup> (23,4 - 62,6)</li> <li>Fond urbain : 8,5 ng.m<sup>-3</sup> (3,6 - 9,8)</li> </ul> <p>LCSQA (2017b) : pour le cuivre, le baryum et l'antimoine, <b>les maxims de concentrations sont obtenus sur les deux sites de proximité automobile.</b> Concentrations moyennes annuelles :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Trafic : 40ng.m<sup>-3</sup> à Roubaix et 25 ng.m<sup>-3</sup> à Strasbourg</li> <li>Fond urbain : de 10 à 20 ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Rural : moins de 10 ng.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Anses (2018a) : moyennes des concentrations moyennes recueillies selon type d'influence (avec une distribution plus compacte en influence trafic) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : 19,2 ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Pas d'influence : 10,1 ng.m<sup>-3</sup></li> </ul>	En 2020, le secteur des transports (incl. routier) représentait 94% des émissions de Cuivre (Citepa 2022). Plus spécif, transport routier prédominait les émissions (75%). En comparaison, les autres secteurs (industrie, usage des bâtiments et activités résidentielles/tertiaires , agriculture...) contribuaient à moins de 3%. En zones urbaines, souvent considéré comme traceur des émissions hors-échappement du trafic routier (LCSQA 2017a).	Oui (Cerema 2024, Copert 2024)

	Métaux		
	Critère clé	Critères additionnels	
	Comparaison des concentrations en situation de proximité trafic et en situation de fond pour le polluant	Secteurs contributeurs aux émissions totales nationales	Existence de facteur d'émission
Manganèse et composés	<p>Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : concentrations significativement plus élevées en bord de route en comparaison du fond urbain et très fortement corrélées aux concentrations de cuivre, fer et étain ; médianes (IQR):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 11,7 ng.m<sup>-3</sup> (9,8 - 16,9)</li> <li>Fond urbain : 4,6 ng.m<sup>-3</sup> (2,0 - 9,7)</li> </ul> <p>Anses (2018a) : moyennes des concentrations moyennes selon type d'influence, recueillies par consultation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : 5,8 ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Pas d'influence : 7,4 ng.m<sup>-3</sup></li> </ul>	Manganèse non estimé dans les inventaires nationaux. En zones urbaines, souvent considéré comme traceur des poussières minérales, en particulier de leur remise en suspension par la circulation routière (LCSQA 2017a).	Non inclus dans Cerema (2024), Copert (2024) ou HBEFA (2022)
Etain et composés	<p>Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : concentrations significativement plus élevées en bord de route en comparaison du fond urbain et très fortement corrélées aux concentrations de cuivre et de fer ; médianes (IQR) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 9,85 ng.m<sup>-3</sup> (5,18 - 13,63)</li> <li>Fond urbain : 2,10 ng.m<sup>-3</sup> (1,30 - 3,64)</li> </ul> <p>Anses (2018a) : moyennes des concentrations moyennes selon type d'influence, recueillies par consultation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : 7,79 ng.m<sup>-3</sup> (une seule donnée)</li> <li>Pas d'influence : 3,2 ng.m<sup>-3</sup> (deux données)</li> </ul>	Etain non estimé dans les inventaires nationaux. En zones urbaines, souvent considéré comme traceur des émissions hors-échappement du trafic (LCSQA 2017a).	Non inclus dans Cerema (2024), Copert (2024) ou HBEFA (2022)
Nickel et composés	<p>Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : concentrations inférieures à la limite de détection sur les deux typologies de sites (proximité trafic et fond urbain).</p> <p>Anses (2012) : p75 moyen des concentrations annuelles en France, 2007-2009 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Trafic : 2,64 ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Urbain : 2,60 ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Péri urbain : 4,27 ng.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Anses (2012) : concentrations annuelles moyennes 2002-2005 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Trafic : [1,6 - 8,0] ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Fond urbain : [2,2 - 6,0] ng.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Atmo Occitanie (2020)<sup>38</sup> : concentrations moyennes annuelles en 2007 et 2019 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic Montpellier (2007) : 2,7 ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Sites urbain/rural (2019) : entre 0,4 et 0,5 ng.m<sup>-3</sup></li> </ul>	En 2020, le secteur des transports représentait 20% des émissions totales de nickel en France ; le transport routier est quasi seul contributeur (19%) (Citepa 2022). Le secteur le plus contributeur aux émissions de nickel était l'industrie manufacturière et construction (53%).	Oui (Cerema 2024, Copert 2024)
Fer et composés	<p>Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : concentrations significativement plus élevées en bord de route en comparaison du fond urbain, médianes (IQR):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 1 011,4 ng.m<sup>-3</sup> (552,6 - 1312,5)</li> <li>Fond urbain : 110,3 ng.m<sup>-3</sup> (15,9 - 207,0)</li> </ul> <p>Anses (2018a) : moyennes des concentrations moyennes selon type d'influence, recueillies par consultation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : 358,0 ng.m<sup>-3</sup> [très forte variabilité, de 0,8 à 744,9]</li> <li>Pas d'influence : 274,5 ng.m<sup>-3</sup></li> </ul>	Fer non estimé dans les inventaires nationaux. En zones urbaines, souvent considéré comme traceur des émissions hors-échappement du trafic et des poussières minérales (parfois d'origine naturelle) remises en suspension par la circulation routière (LCSQA 2017a).	Non inclus dans Cerema (2024), Copert (2024) ou HBEFA (2022)

	Métaux		
	Critère clé	Critères additionnels	
	Comparaison des concentrations en situation de proximité trafic et en situation de fond pour le polluant	Secteurs contributeurs aux émissions totales nationales	Existence de facteur d'émission
Titane et composés	<p>Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : concentrations significativement plus élevées en bord de route mais <b>influence industrielle suspectée</b>, médianes (IQR):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 5,33 ng.m<sup>-3</sup> (1,98 - 10,1)</li> <li>Fond urbain : inférieur à la limite de quantification</li> </ul> <p>LCSQA (2017b) : les maxima de concentrations correspondent à des sites urbains sans influence trafic, les variations spatiotemporelles observées ne permettent pas de dégager de tendances globales.</p>	<p><i>Titane non estimé dans les inventaires nationaux.</i> En zones urbaines, considéré comme traceur des poussières minérales (parfois d'origine naturelle), en particulier de leur remise en suspension par la circulation routière (LCSQA 2017a).</p>	<p>Non inclus dans Cerema (2024), Copert (2024) ou HBEFA (2022)</p>
Vanadium et composés	<p>Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : pas de différence statistiquement significative entre les concentrations en bord de route et en fond urbain, médianes (IQR):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 0,514 ng.m<sup>-3</sup> (0,346 - 0,665)</li> <li>Fond urbain : 0,604 ng.m<sup>-3</sup> (0,449 - 0,823)</li> </ul> <p>LCSQA (2017b) : les maxima de concentrations correspondent à des <b>sites côtiers et sont jusqu'à 13 fois plus élevés que ceux observés sur les sites urbains (incluant trafic)</b>.</p> <p>Anses (2018a) : moyennes des concentrations moyennes recueillies selon type d'influence, recueillies par consultation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : 1,1 ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Pas d'influence : 0,9 ng.m<sup>-3</sup></li> </ul>	<p><i>Vanadium non estimé dans les inventaires nationaux.</i> Considéré comme bon traceur des sources industrielles (LCSQA 2017a). Contribution significative des émissions par le transport maritime et/ou liées aux activités industrielles (LCSQA 2017b).</p>	<p>Non inclus dans Cerema (2024), Copert (2024) ou HBEFA (2022)</p>
Zinc et composés	<p>Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : pas de différence statistiquement significative entre les concentrations en bord de route et en fond urbain ; pics de concentrations sur les deux sites simultanés à des pics d'aluminium, plomb, titane et chrome suggérant une influence industrielle ; médianes (IQR) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 28,6 ng.m<sup>-3</sup> (18,3 - 64,3)</li> <li>Fond urbain : 45,0 ng.m<sup>-3</sup> (17,3 - 70,4)</li> </ul> <p>Anses (2018a) : moyennes des concentrations moyennes selon type d'influence, recueillies par consultation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : 35,2 ng.m<sup>-3</sup></li> <li>Pas d'influence : 39,0 ng.m<sup>-3</sup></li> </ul>	<p>En 2020, le secteur des transports représentait 52% des émissions totales de zinc en France (Citepa 2022). Le transport routier était prédominant (50%). Le secteur de l'usage des bâtiments et activités résidentielles/tertiaires représentait 19% des émissions totales de zinc en France en 2020, similaire à la contribution de l'industrie manufacturière et construction (20%).</p>	<p>Oui (Cerema 2024, Copert 2024)</p>

IQR : *intervalle interquartile.*

Particules et composés		Critères additionnels	
Critère clé		Critères additionnels	
Comparaison des concentrations en situation de proximité trafic et en situation de fond pour le polluant		Secteurs contributeurs aux émissions totales nationales	Existence de facteur d'émission
<b>Carbone suie</b>	<p>Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : concentrations en <b>carbone élémentaire</b> significativement plus élevées en bord de route, médianes (IQR) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 5,9 µg.m<sup>-3</sup> (4,0 - 7,3)</li> <li>Fond urbain : 1,3 µg.m<sup>-3</sup> (0,9 - 2,2)</li> </ul> <p>Anses (2018a) : moyennes des concentrations moyennes en <b>carbone élémentaire</b> selon type d'influence, recueillies par consultation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : 5,55 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>Pas d'influence : 1,09 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>SDES Datalab (2021) : concentrations maximales en carbone suie observées sur les sites sous influence trafic.</p> <p>AirParif (2021)<sup>39</sup> : moyennes annuelles de 2015 à 2019 sur cinq sites en Ile de France :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : de 6 à 14 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>Fond urbain : &lt; 4 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Atmo Sud (2023)<sup>40</sup> : moyennes annuelles dans la région Provence Alpes Côte d'Azur en 2021 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 2,06 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>Site de fond : 1,23 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul>	<p>En 2020, le transport routier représentait 35% des émissions de carbone suie en France (Citepa 2022). Le secteur de l'usage des bâtiments et activités résidentielles/tertiaires contribuait à proportion similaire.</p>	<p>Oui (Copert 2024, HBEFA 2022)</p>
<b>PM<sub>10</sub></b>	<p>Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : concentrations significativement plus élevées en bord de route, médianes (IQR) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 24,1 µg.m<sup>-3</sup> (18,1 - 29,1)</li> <li>Fond urbain : 19,6 µg.m<sup>-3</sup> (11,8 - 24,3)</li> </ul> <p>Anses (2012) : p75 moyen des concentrations annuelles en France, 2007-2009 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Trafic : 35,1 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>Urbain : 28,1 µg.m<sup>-3</sup></li> <li>Péri urbain : 27,9 µg.m<sup>-3</sup></li> </ul> <p>Atmo Sud (2023)<sup>40</sup> : moyennes annuelles (min - max) dans la région Provence Alpes Côte d'Azur en 2021 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 25 µg.m<sup>-3</sup> (16 - 32)</li> <li>Site de fond : 17,5 µg.m<sup>-3</sup> (11 - 22)</li> </ul>	<p>En 2020 en France, le secteur le plus émetteur de PM<sub>10</sub> était le secteur de l'usage des bâtiments et activités résidentielles/tertiaires (34%) suivi de l'agriculture (27%) et de l'industrie manufacturière et construction (25%) (Citepa 2022). Le secteur du transport routier représentait quant à lui 11%. Seules les émissions de particules primaires sont considérées dans les inventaires nationaux.</p>	<p>Oui (Cerema 2024, Copert 2024, HBEFA 2022)</p>
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	<p>Programme PM-DRIVE (Charron <i>et al.</i> 2019) : concentrations significativement plus élevées en bord de route, médianes (IQR) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 18,4 µg.m<sup>-3</sup> (13,4 - 21,9)</li> <li>Fond urbain : 14,3 µg.m<sup>-3</sup> (9,7 - 18,0)</li> </ul> <p>Atmo Sud (2023)<sup>40</sup> : moyennes annuelles (min - max) dans la région Provence Alpes Côte d'Azur en 2021 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic : 11 µg.m<sup>-3</sup> (9 - 12)</li> <li>Site de fond : 9 µg.m<sup>-3</sup> (6 - 12)</li> </ul>	<p>En 2020 en France, le secteur le plus émetteur de PM<sub>2,5</sub> était le secteur de l'usage des bâtiments et activités résidentielles/tertiaires (56%) suivi de l'industrie manufacturière et construction (17%) (Citepa 2022). Le secteur du transport routier représentait 13%. Seules les émissions de particules primaires sont considérées dans les inventaires nationaux.</p>	<p>Oui (Cerema 2024, Copert 2024, HBEFA 2022)</p>

<sup>39</sup> <https://www.airparif.fr/actualite/2021/la-surveillance-du-carbone-suie-en-ile-de-france>

<sup>40</sup> [https://www.atmosud.org/sites/sud/files/medias/documents/2023-01/15122022\\_Porter\\_connaissance\\_2021.pdf](https://www.atmosud.org/sites/sud/files/medias/documents/2023-01/15122022_Porter_connaissance_2021.pdf)



Particules et composés		Critères additionnels	
Critère clé		Critères additionnels	
Comparaison des concentrations en situation de proximité trafic et en situation de fond pour le polluant		Secteurs contributeurs aux émissions totales nationales	Existence de facteur d'émission
Particules ultrafines	<p><u>Anses (2018a) : moyennes des concentrations moyennes en PM<sub>0,8</sub> selon type d'influence, recueillies par consultation :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : 2 229 particules.cm-3</li> <li>Pas d'influence : 1 176 particules.cm-3</li> </ul> <p><u>AirParif (2022)<sup>41</sup> : concentrations moyennes horaires de particules ultrafines en proximité trafic 2 à 6 fois plus élevées que celles observées en fond urbain, été 2021 :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Trafic urbain : de 16,8.10<sup>3</sup> à 23,2.10<sup>3</sup> particules.cm-3</li> <li>Trafic périurbain : 53,3.10<sup>3</sup> particules.cm-3</li> <li>Fond urbain : 9,2.10<sup>3</sup> particules.cm-3</li> </ul> <p><u>Atmo Grand Est (2023)<sup>42</sup> : concentrations moyennes journalières entre 2019 et 2022 :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Site trafic (Strasbourg) : 14.10<sup>3</sup> particules.cm-3</li> <li>Site urbain de fond (Reims, Strasbourg, Metz) : de 8.10<sup>3</sup> à 12.10<sup>3</sup> particules.cm-3</li> </ul> <p><u>Morawska et al. (2008) : moyenne [médiane] des concentrations collectées dans une revue de la littérature :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Influence trafic : 48,18.10<sup>3</sup> [34,58.10<sup>3</sup>] particules.cm-3</li> <li>Fond urbain : 7,29.10<sup>3</sup> [8,10.10<sup>3</sup>] particules.cm-3</li> <li>Fond isolé : 2,61.10<sup>3</sup> [3,20.10<sup>3</sup>] particules.cm-3</li> </ul> <p><u>LCSQA (2020)<sup>43</sup> : valeurs moyennes sur l'ensemble du territoire :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Trafic : 9,7.10<sup>3</sup> particules.cm-3</li> <li>Fond urbain : 7,7.10<sup>3</sup> particules.cm-3</li> </ul>	<p>Particules ultrafines (PM<sub>0,1</sub>) non estimées dans les inventaires nationaux. En 2020 en France, le secteur le plus émetteur de particules très fines (PM<sub>1,0</sub>) était le secteur de l'usage des bâtiments et activités résidentielles/tertiaires (71%) (Citepa 2022). Le secteur des transports (incluant routier) représentait quant à lui 11%. En proximité trafic, de 70% à 90% des particules en nombres peuvent être attribués au trafic routier dans quatre sites européens (Rivas et al. 2020).</p>	<p>Oui (Copert 2024, HBEFA 2022)</p>

*IQR : intervalle interquartile*

<sup>41</sup> [https://www.airparif.fr/sites/default/files/document\\_publication/Rapport\\_PUF\\_Trafic\\_ete\\_2021.pdf](https://www.airparif.fr/sites/default/files/document_publication/Rapport_PUF_Trafic_ete_2021.pdf)

<sup>42</sup> <https://www.atmo-grandest.eu/publications/les-particules-ultrafines-observatoire-regional-de-la-mesure-de-la-concentration-en>

<sup>43</sup> <https://www.lcsqa.org/fr/rapport/bilan-des-niveaux-de-concentrations-particulaires-en-nombre-au-sein-du-dispositif-national>

## Annexe 4 : Trame de questionnaire utilisée lors des auditions et consultations

### TRAME DE QUESTIONNAIRE

#### Audition

« Exposition des travailleurs à la pollution de l'air à proximité du trafic routier et conséquences sur leur santé »

Objet : Ce document présente les différents points à aborder lors de l'audition

Contexte : L'Anses a été saisie par le Ministère en charge de l'écologie, avec la Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer et la Direction générale du travail afin d'évaluer l'exposition des travailleurs à la pollution de l'air à proximité du trafic routier et ses éventuelles conséquences sur leur santé.

Dans ce cadre, l'Agence est chargée d'étudier les expositions aux polluants générés par le trafic routier pour les travailleurs exerçant tout ou partie de leurs activités professionnelles sur ou à proximité de routes sous circulation et le cas échéant, d'évaluer les risques associés en comparaison avec la population générale. Il s'agira également d'identifier d'éventuels déterminants de l'exposition (fréquences et durées de présence sur le réseau routier, typologie des lieux de travail) et des indicateurs pertinents à surveiller en lien avec le trafic routier, afin de faciliter l'évaluation de ces risques pour les travailleurs.

Objectifs et données recherchées dans le cadre de cette audition:

L'Anses souhaite collecter des informations relatives aux travailleurs exerçant tout ou partie de leurs activités professionnelles sur ou à proximité de routes sous circulation.

Ces données concernent notamment la description des postes impliquant de telles activités, le profil des travailleurs concernés (effectifs, âge, sexe...) et une description des activités réalisées sur et à proximité de routes sous circulation (tâches, horaires, durée, fréquences, environnement de travail...).

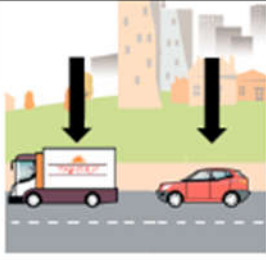
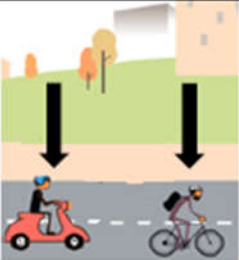


L'objectif est d'**avoir une vision globale des circonstances dans lesquelles les travailleurs peuvent être exposés à la pollution issue du trafic routier**. Dans cette optique, le recueil de données conduit dans le cadre des différentes auditions est réalisé par le biais d'échanges avec des représentants de secteurs d'activités professionnelles variées : exploitation, entretien, maintenance et construction de la voirie, transport de personnes, transport/livraison de marchandises, collecte des déchets etc.

*La suite du document comporte une première partie relative aux **postes de travail** et une seconde relative aux **activités/tâches**. Nous invitons les différents interlocuteurs à compléter le questionnaire et à le retourner à l'Anses.*

*Il s'agit d'une trame à adapter selon le nombre de postes et d'activités qui sont spécifiques à votre structure. Les tableaux proposés comportent 3 colonnes à titre d'exemple (Poste 1, Poste 2, Poste 3 / Activité A, Activité B, Activité C). N'hésitez pas à adapter le format à vos besoins soit en ajoutant des colonnes soit en reproduisant chaque tableau pour renseigner l'ensemble de vos données.*

Partie 1 - Questions relatives aux postes dont tout ou partie des activités se déroulent sur la route ou à proximité de routes sous circulation :

- ✓ Dans votre entreprise/direction, quels sont les postes dont les activités impliquent une présence sur la route ou à proximité de routes sous circulation ? (Quelques exemples non exhaustifs ci-dessous)




			
Travail au volant d'un véhicule circulant sur une route	Travail à 2 roues circulant sur une route	Intervention sur le bord d'une route sous circulation	Travail à proximité d'une route sous circulation
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poste 1</li> <li>• Poste 2</li> <li>• Poste 3</li> <li>• ....</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poste 4</li> <li>• Poste 5</li> <li>• Poste 6</li> <li>• ....</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poste 7</li> <li>• Poste 8</li> <li>• Poste 9</li> <li>• ....</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poste 10</li> <li>• Poste 11</li> <li>• Poste 12</li> <li>• ....</li> </ul>

- ✓ Pour les différents postes identifiés au sein de votre structure, pouvez-vous nous préciser les informations suivantes :

Type de poste	Poste 1	Poste 2	Poste 3
Effectif			
Age moyen			
Pourcentages Hommes / Femmes			
Ancienneté moyenne dans le poste			
Fréquence de la présence sur ou à proximité de routes sous circulation ? <i>Nb de jours / an en moyenne</i>			
Quelles sont les activités courantes de ce poste impliquant la présence sur ou à proximité de routes sous circulation ?	Activité A, activité B...		

Partie 2 - Questions relatives aux activités/tâches impliquant la présence des travailleurs sur ou à proximité de routes sous circulation :

- ✓ Pour chacune des activités identifiées dans la dernière ligne du tableau précédent, merci de répondre aux questions suivantes qui nous permettront de mieux caractériser les activités/tâches et l'environnement de travail :

		Activité A <i>Ex : Entretien des accotements</i>	Activité B <i>Ex : Mise en place de marquage</i>	Activité C <i>Ex : Fermeture/Ouverture de voies</i>
<b>Description générale de l'activité</b>				
1/ Décrivez-nous en quoi consiste cette activité				
2/ Est-ce que l'activité implique de travailler en extérieur, à l'air libre ? <i>oui/non</i>				
3/ Est-ce que l'activité implique de travailler dans l'habitacle d'un véhicule (conducteur ou passager) ? <i>oui/non</i> Si oui, est-ce un habitacle fermé ou ouvert ?				
4/ Est-ce que l'activité implique que le travailleur se situe...	Dans le flux de trafic ? ( <i>au milieu des véhicules circulants, que ce soit à bord d'un véhicule ou à pied</i> ) <i>oui/non</i>			
	Au bord de la route/voirie ( <i>ex : sur la bande d'arrêt d'urgence de l'autoroute, sur un trottoir en ville, derrière la glissière de sécurité l'autoroute...</i> ) <i>oui/non</i>			
	A proximité de trafic mais en retrait de la route/voirie ? ( <i>ex : parc ou jardin en ville, derrière mur du périph ?</i> ) <i>oui/non</i>			
5/ La réalisation de cette activité implique-t-elle une ou plusieurs des circonstances de travail suivantes ?				
5a → Des efforts physiques ? <i>oui/non</i>				
Si oui, préciser lesquels et à quelle fréquence : <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Marche, manipulation d'outils, port/ déplacement de charges, autres...</li> <li>✓ Systématiquement ? Régulièrement ? Rarement ?</li> </ul>				



		Activité A <i>Ex : Entretien des accotements</i>	Activité B <i>Ex : Mise en place de marquage</i>	Activité C <i>Ex : Fermeture/Ouverture de voies</i>
<b>5b → La manipulation ou conduite d'engins/machines générant des poussières ou des gaz d'échappement? <i>oui/non</i></b> Si oui, préciser lesquels et à quelle fréquence : ✓ <i>Débroussaillage des talus/bas-côtés, entretien des espaces verts...</i> ✓ <i>Systématiquement ? Régulièrement ? Rarement ?</i>				
<b>5c → La manipulation de produits chimiques? <i>oui/non</i></b> Si oui, préciser lesquels et à quelle fréquence : ✓ <i>Produits de nettoyage, pesticides, désherbants, engrais, bitume, sels de déneigement, lubrifiants, dégraissants...)</i> ✓ <i>Systématiquement ? Régulièrement ? Rarement ?</i>				
<b>5d → La manipulation ou la proximité d'engins/machines générant du bruit ? <i>oui/non</i></b> Si oui, préciser lesquels et à quelle fréquence : ✓ <i>Débroussailleuse, marteau-piqueur, engin de chantier...</i> ✓ <i>Systématiquement ? Régulièrement ? Rarement ?</i>				
<b>Saisonnalité, fréquences/durées et environnement de réalisation de l'activité</b>				
6/Est-ce que l'activité a lieu tout au long de l'année ou uniquement à certaines saisons (préciser la période de l'année considérée le cas échéant) ?				
7/ Pouvez-vous estimer la fréquence de l'activité / de la tâche exposant au trafic ? <i>jours/sem OU jours/mois OU jours/an</i>				
8/ Pouvez-vous estimer sa durée ? <i>Heures/jours OU heures/sem OU heures/mois</i>				
9/ A quel moment de la journée a-t-elle généralement lieu ? <i>7h-10h / 10h-17h / 17h-20h / 20h-7h / toutes heures</i>				
10/ Pouvez-vous nous préciser dans quel(s) environnement(s) se déroule cette activité et estimer les fréquences correspondantes le cas échéant ? <i>jours/sem OU jours/mois OU jours/an</i>	En zone urbaine ou périurbaine = zone bâtie en continu ou majoritairement bâtie, qui compte au moins 2 000 habitants			
	En milieu rural = zone qui n'est ni urbaine ni périurbaine			

<p>En complément,</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- avez-vous d'autres conditions de travail particulières à mentionner en lien avec ces activités ?</li><li>- n'hésitez pas à nous transmettre toute information supplémentaire que vous jugerez utile ou de la documentation éventuelle.</li></ul>	
--	--

Merci pour votre contribution.

## Annexe 5 : Retours des auditions et consultations

### Bilan des interlocuteurs sollicités

Institution/Structure	Descriptif	Modalités d'échange
Directions interdépartementales des routes (DIR)	Services routiers de l'État (sous l'autorité du Ministre chargé des transports et plus spécifiquement de la DGITM) chargés de la construction et de l'entretien du réseau routier national non concédé (autoroutes et routes nationales)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Audition le 05/04/2023</li> <li>➔ Retour du questionnaire</li> </ul> Ensemble des DIR représentées
Fédération nationale des transports de voyageurs (FNTV)	Syndicat représentant les entreprises du transport routier de voyageurs hors zone urbaine, leurs activités et leurs métiers	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Audition le 15/06/2023</li> <li>➔ Retour du questionnaire</li> </ul>
Association des sociétés françaises d'autoroutes (ASFA)	Association professionnelle regroupant tous les acteurs du secteur de la concession et de l'exploitation d'autoroutes et d'ouvrages routiers (sociétés concessionnaires d'autoroute)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Retour du questionnaire</li> <li>➔ Transmission de documents</li> </ul>
Métropole de Lyon	Collectivité territoriale à statut particulier composée de 58 communes dont Lyon et exerçant à la fois les compétences d'un département et celles d'une métropole	➔ Retour du questionnaire pour différentes catégories d'activités professionnelles
Représentants des organisations syndicales (CGT, CFDT, CFTC...)	Représentants des salariés susceptibles d'être exposés à la pollution issue du trafic routier.	➔ Echanges par mail et téléphone avec des représentants de la CGT, CFDT
La Poste	Entreprise française consultée pour ses activités de services postaux (courrier, colis et express).	➔ Retour du questionnaire
Centre d'études des tunnels (CETU)	Service technique central du ministère de l'Écologie compétent sur la conception, la construction, l'entretien, l'exploitation et la sécurité des tunnels routiers et autoroutiers.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Echange téléphonique</li> <li>➔ Transmission de documents</li> </ul>
Routes de France/ Fédération Nationale des Travaux Publics	Syndicat représentant les industriels et entrepreneurs du secteur des infrastructures de mobilité et de l'aménagement urbain.	➔ Incompatibilité de calendrier pour la tenue d'un échange et le renseignement du questionnaire
Ville de Paris	Collectivité unique à statut particulier exerçant les compétences de la commune et du département de Paris.	➔ Incompatibilité de calendrier pour le renseignement du questionnaire
Fédération nationale du transport routier (FNTR)	Organisme représentatif de la profession, outil d'influence auprès des pouvoirs publics	➔ Absence de réponse
Conseil départemental du Nord (CD59)	Assemblée délibérante du département français du Nord et dont le siège se trouve à Lille.	➔ Absence de réponse
Union des transports publics	Syndicat représentant les entreprises du transport publics, intégrant les zones urbaines	➔ Absence de réponse



**Compte-rendu des auditions :****« Exposition des travailleurs à la pollution issue du trafic routier et conséquences pour leur santé »**

Compte rendu de l'audition des Directions interdépartementales des routes (DIR)

**5 avril 2023 (de 14h à 16h30)**

A distance (Teams)

Etaient présents

**Représentants des DIR :**

- DIR Méditerranée (Marseille) : James Lefèvre (Dir adjoint exploitation)
- DIR CE (Lyon) : Lionel Vuittenez (Dir adjoint)
- DIR IdF (Créteil) : Marc Couzel (Dir adjoint)
- DIR Sud-Ouest (Toulouse) : Sylvie Paillard (Chargée d'animation des politiques d'entretien exploitation)
- DIR Massif central (Clermont) : Thierry Marquet (Dir adjoint)

**Représentants des tutelles :**

MTE / SG / DRH : Laurent Maucec, Virginie Lenoble

MTE / DGITM / DMR : Stanislas de Romémont

**Membres du GT :**

Cécile Ducros [CD], Virginie Dunez [VD], Laurent Gagnepain (président) [LG], Fabrice Michiels [FM]

**Anses :**

Clémence Fourneau [CF], Marion Keirsbulck [MK], Margaux Sanchez [MS]

## **Introduction**

Tour de table avec présentation des participants.

Rappel des objectifs des auditions menées par l'Anses :

- Avoir une vision globale des circonstances dans lesquelles les travailleurs peuvent être exposés à la pollution issue du trafic routier ;
- Décrire les postes impliquant des activités professionnelles sur ou à proximité de routes sous circulation ;
- Décrire dans quels contextes et conditions ces activités sont réalisées.

Dans ce contexte, une première phase d'échanges est organisée avec les DIRs volontaires afin de recueillir des informations ou données immédiatement disponibles en réponse aux besoins de l'Agence (réponse au questionnaire de l'Anses et discussion collégiale ce jour).

Par la suite, un recueil de données plus ciblé et approfondi pourra être organisé avec certaines DIRs volontaires sur des sujets spécifiques qui nécessiteraient des approfondissements.

L'Anses propose d'articuler les discussions du jour autour des 3 grandes thématiques soulevées dans le questionnaire : i) les postes et ii) les activités impliquant la présence des travailleurs sur ou à proximité de routes sous circulation, et enfin iii) les préoccupations particulières des agents des DIRs vis-à-vis de la pollution issue du trafic routier.

## **Postes**

Les postes décrits sont les postes considérés par les DIRs comme les plus exposés à la pollution issue du trafic routier. Trois grandes catégories de postes émergent :

- Agent d'exploitation ;
- Chef d'équipe encadrant d'exploitation ;
- Technicien de maintenance.

### **Agent d'exploitation :**

Il s'agit des agents les plus nombreux en DIRs et les plus exposés à la pollution issue du trafic routier (selon les représentants de DIRs auditionnés), avec une fréquence estimée de présence sur ou à proximité de routes sous circulation allant de 140 à 210 jours par an. Employés sur les routes, ils exercent plusieurs activités différentes (exploitation ; entretien des chaussées, des ouvrages d'art, des dépendances et aires de repos ; patrouille ; viabilité hivernale) en qualité d'exécutants. La diversité des activités exercées par les agents varie selon les DIRs. Hormis la viabilité hivernale, les activités ont lieu toute l'année.

### **Chef d'équipe encadrant d'exploitation (font partie de l'encadrement) :**

Classiquement, au cours d'une intervention sur le réseau, une équipe de 3 personnes intervient dont 2 agents d'exploitation et un chef d'équipe. Les chefs d'équipe sont impliqués dans toutes les activités mais en qualité d'encadrants. Ils exercent des missions de surveillance technique, mesures et contrôle des activités d'exploitation. Si la nature des expositions professionnelles semble homogène au sein de l'équipe pour une intervention donnée, le chef d'équipe sera toutefois présent pour une durée plus courte sur le site d'intervention. En complément, les chefs d'équipe exercent des activités de suivi de chantier (qu'il s'agisse de chantiers réalisés en régie ou confiés à des entreprises extérieures). La fréquence de présence sur ou à proximité de routes sous circulation des chefs d'équipe encadrant d'exploitation est estimée de 100 à 200 jours par an, ce qui est plus faible que pour les agents d'exploitation. Les représentants des DIRs indiquent que globalement, plus on monte dans la hiérarchie, moins leurs personnels sont exposés à la pollution issue du trafic routier.

### Technicien de maintenance des équipements dynamiques :

Ces travailleurs procèdent spécifiquement à des activités de maintenance des équipements dynamiques routiers (appareils destinés à la mesure du trafic, l'alerte, la télésurveillance ou l'information des usagers) présents sur le réseau. Ils assurent notamment l'entretien et la réparation des panneaux à messages variables, des systèmes de mesure du trafic routier, des caméras de surveillance routière ou encore des éléments de signalisation en tunnel.

Une partie de l'activité des techniciens de maintenance des équipements dynamiques se déroule en tunnel. Cet aspect a amené les représentants des DIRs à soulever la spécificité des activités de maintenance qui s'y déroulent et à faire part de leurs préoccupations concernant les expositions à la pollution issue du trafic des travailleurs amenés à intervenir régulièrement dans cet environnement confiné. En fonction des DIRs, certains techniciens peuvent être affectés uniquement aux activités de maintenance dans les tunnels et, même lorsque ce n'est pas le cas, les activités dans les tunnels constituent une part importante de leur travail compte tenu des nombreux équipements qui y sont présents. Le travail en tunnel ne concerne pas seulement les techniciens de maintenance des équipements dynamiques : les agents et chefs d'équipe sont également amenés à y intervenir dans le cadre de leurs activités.

La fréquence de présence sur ou à proximité de routes sous circulation des techniciens de maintenance est estimée de 50 à 210 jours par an. Selon les représentants des DIRs, les expositions à la pollution issue du trafic pour ces travailleurs pourraient être plus fortes, en fonction de la part de leur activité exercée dans les tunnels (et de la surconcentration attendue des polluants dans ce milieu confiné) mais le nombre d'agents concerné est réduit comparativement aux agents d'exploitation et chefs d'équipe encadrant d'exploitation.

### Synthèse des données relatives aux 3 grandes catégories de postes discutées

Postes	Activités								Fréquence sur ou à proximité de routes sous circulation	Effectifs
	Expl.	VH	Surv.	Pat.	Entr.	Suivi.	Dép.	Main.		
<i>Agent d'exploitation</i>									140 à 210 j/an	80 à 322
<i>Chef d'équipe encadrant d'exploitation</i>									100 à 200 j/an	60 à 100
<i>Technicien de maintenance</i>									50 à 210 j/an	7 à 40

*Exploitation de la route (Expl.) ; Viabilité hivernale (VH) ; Surveillance technique (Surv.) ; Patrouille (Pat.) ; Entretien des chaussées et des ouvrages d'art (Entr.) ; Suivi de chantiers (Suivi.) ; Entretien des dépendances et aires de repos (Dép.) ; Maintenance des équipements dynamiques (Main.)*

### Activités

Sur la base des retours aux questionnaires et des discussions avec les représentants des DIRs, plusieurs grandes typologies d'activités émergent.

#### **Activités destinées à assurer le bon fonctionnement d'une route (maintien de la viabilité notamment)**

- Exploitation de la route
- Viabilité hivernale
- Surveillance technique

- Patrouille
- **Activités entreprises pour maintenir la qualité de la route et de ses équipements (chaussée, dépendances, ouvrages d'art, équipements de sécurité et de signalisation)**
  - Entretien des chaussées et des ouvrages d'art
  - Suivi de chantiers
  - Entretien des dépendances et aires de repos
  - Maintenance des équipements dynamiques

Les tableaux ci-après reprennent, pour chacune des activités identifiées, une description globale des tâches, circonstances de travail et particularités associées à l'activité en question. Il est à noter que les données quantitatives fournies (i.e. fréquences) représentent une moyenne annuelle lissée.

Activité	Exploitation de la route					
<b>Description</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pose / dépose de signalisation temporaire (pose de cônes et panneaux) dans le cadre de chantiers programmés ou lors d'interventions sur accidents / incidents (protection des véhicules accidentés).</li> <li>• Nettoyage de zones après interventions / intervention sur accident dont remise en état de la chaussée.</li> </ul>					
<b>Circonstances de travail</b>	<b>En extérieur</b>	<b>Habitacle véhicules</b>	<b>Efforts physiques</b>	<b>Conduite engins/machines</b>	<b>Produits chimiques</b>	<b>Bruit</b>
		Ouvert	Port de charges : cônes, panneau	Souffleur, balayeur, groupe électrogène, remorque thermique d'éclairage	Carburant, absorbant d'hydro-carbure	Engins précités
<b>Commentaires, spécificités, particularités</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Activités se déroulant toute l'année □ 1 à 3 jours par semaine, à toutes heures de la journée, 2 à 7h par jour. Les équipes travaillent soit le matin, soit l'après-midi.</li> <li>• Différence de répartition des activités d'exploitation et d'entretien selon l'environnement de travail (urbain ou rural) □ la proportion des activités d'exploitation en milieu urbain est majoritaire. En environnement rural, ce sont les activités d'entretien qui prédominent.</li> <li>• Variabilité dans le temps et variabilité horaire des interventions réalisées : plus il y a de trafic/bouchons, plus les agents interviennent (en fréquence et en nombre) et plus ils sont exposés à la pollution issue du trafic (le niveau de pollution étant lié à l'importance du trafic et à l'engorgement des voies)</li> <li>• Selon les zones géographiques, des variations mensuelles du niveau d'activité peuvent s'observer. Par exemple, des pics d'activité durant la période estivale peuvent s'observer au niveau des axes de migrations importants. C'est notamment le cas au sein de la DIR Massif Central qui gère une autoroute sur laquelle le flux de trafic est très important en juillet et en août.</li> </ul>					

Activité	Viabilité Hivernale (VH)					
<b>Description</b>	• Traitement des routes en VH : salage, raclage des chaussées (engin de service hivernal dit « chasse-neige »)					
<b>Circonstances de travail</b>	<b>En extérieur</b>	<b>Habitacle véhicules</b>	<b>Efforts physiques</b>	<b>Conduite engins/machines</b>	<b>Produits chimiques</b>	<b>Bruit</b>
				Déneigement : engin + sels		Engins peu bruyants
<b>Commentaires, spécificités, particularités</b>	• Activités se déroulant uniquement en période hivernale : du 15/11 au 15/03 (29/10 au 05/05 en zone de montagne) □ 3 à 5 heures, variable selon la zone géographique concernée, à toutes heures de la journée mais principalement la nuit.					

Activité	Viabilité Hivernale (VH)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le chargement / déchargement des camions peut entraîner des efforts physiques importants pour les travailleurs qui évoluent dans des conditions délicates induites par la météo.</li> <li>Les camions utilisés pour ces activités ne font pas particulièrement de bruit.</li> <li>La proportion des activités de déneigement et l'épandage de sel varie selon la zone géographique. Par exemple, ce sont des activités minoritaires en Ile-De-France mais très importantes en zone de montagne.</li> </ul>

Activité	Surveillance					
Description	• Surveillance technique, mesures, contrôle des activités de l'exploitation					
Circonstances de travail	En extérieur	Habitacle véhicules	Efforts physiques	Conduite engins/machines	Produits chimiques	Bruit
Commentaires, spécificités, particularités	• Activités de supervision se déroulant toute l'année ☐ 1 à 3 jours par semaine, en journée (10h-17h)					

Activité	Patrouille					
Description	• Surveillance du réseau en circulant à bord d'un véhicule motorisé pour identifier les anomalies / défauts					
Circonstances de travail	En extérieur	Habitacle véhicules	Efforts physiques	Conduite engins/machines	Produits chimiques	Bruit
Commentaires, spécificités, particularités	<ul style="list-style-type: none"> <li>Activités se déroulant toute l'année ☐ 3 à 5 jours par semaine, en journée (10h-17h)</li> <li>Activités réalisées à bord d'un véhicule utilitaire léger/fourgon dont habitacle est fermé</li> </ul>					

Activité	Entretien des chaussées et des ouvrages d'art					
Description	<ul style="list-style-type: none"> <li>Travaux de réparation et d'entretien des chaussées : bouchage de trous, purges localisées...</li> <li>Travaux de réparation et d'entretien des ouvrages d'art</li> </ul>					
Circonstances de travail	En extérieur	Habitacle véhicules	Efforts physiques	Conduite engins/machines	Produits chimiques	Bruit
			Manipulation d'outils	Selon les travaux : débroussaillage, découpe, terrassement (rarement)	Peinture – activités rares	
Commentaires, spécificités, particularités	<ul style="list-style-type: none"> <li>Activités se déroulant toute l'année ☐ 1 à 5 jours par semaine, 3 à 6 heures par jour, principalement en journée mais des travaux peuvent être réalisés de nuit.</li> <li>Les chantiers sont organisés en période clémente ; en général pas en hiver, ni durant les mois de juillet et août.</li> <li>Les chantiers en zone urbaine sont plutôt réalisés de nuit. Le trafic étant plus faible, on peut penser que les travailleurs intervenant la nuit sont moins exposés à la pollution issue du trafic.</li> </ul>					

<b>Activité</b>	<b>Entretien des chaussées et des ouvrages d'art</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les activités impliquant l'utilisation de peinture sont plutôt limitées dans l'ensemble. Le représentant de la DIR Massif Central indique que quelques agents font ponctuellement des travaux de peinture (travaux de chaussée, signalisation horizontale). Un agent fait spécifiquement cette activité pendant 6 mois de l'année.</li> <li>• Différence de répartition des activités d'exploitation et d'entretien selon l'environnement de travail (urbain ou rural) □ La proportion des activités d'entretien en zone rurale est majoritaire alors qu'en milieu urbain, ce sont les activités d'exploitation qui prédominent.</li> </ul>

<b>Activité</b>	<b>Suivi de chantiers</b>					
<b>Description</b>	• Surveillance des travaux neufs réalisés en régie ou confiés à des entreprises extérieures (ouvrages d'art, chaussées...)					
<b>Circonstances de travail</b>	<b>En extérieur</b>	<b>Habitacle véhicules</b>	<b>Efforts physiques</b>	<b>Conduite engins/machines</b>	<b>Produits chimiques</b>	<b>Bruit</b>
			Marche			Travaux et trafic
<b>Commentaires, spécificités, particularités</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Activités se déroulant toute l'année □ 1 à 3 jours par semaine</li> <li>• Les chantiers sont organisés en période clémente = ni en hiver, ni durant les mois de juillet et août.</li> <li>• Les chantiers en zone urbaine sont plutôt réalisés de nuit. Se pose la question d'une diminution de l'exposition à la pollution issue du trafic pour les travailleurs intervenant la nuit.</li> </ul>					

<b>Activité</b>	<b>Entretien des dépendances et aires de repos</b>					
<b>Description</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dépendances vertes : fauchage débroussaillage mécanisé (tracteur, outillage portatif thermique et électrique), élagages, clôtures</li> <li>• Dépendances bleues : entretien et surveillance du réseau d'assainissement (curage fossé, caniveaux, bassin, fonctionnement des vannes, nettoyage du fond et des abords, ouvrages spécifiques, équipements électromécaniques, stations de relevage)</li> <li>• Aires de repos et abords des routes : entretien sanitaires, collecte poubelles et déchets divers</li> </ul>					
<b>Circonstances de travail</b>	<b>En extérieur</b>	<b>Habitacle véhicules</b>	<b>Efforts physiques</b>	<b>Conduite engins/machines</b>	<b>Produits chimiques</b>	<b>Bruit</b>
		<i>Si tracteur</i>	<i>Engins de fauchage, débroussailleuse, tondeuse, broyeuse, tronçonneuse</i>		<i>Carburant / lubrifiant, raticide, détergents, anti graffiti</i>	<i>Engins précités + trafic</i>
<b>Commentaires, spécificités, particularités</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Activités se déroulant toute l'année □ 1 à 5 jours par semaine, en journée</li> <li>• Manipulation d'engins et de produits chimiques régulière.</li> </ul>					

<b>Activité</b>	<b>Maintenance des équipements dynamiques</b>
<b>Description</b>	• Entretien et réparation des équipements dynamiques : panneaux à messages variables, systèmes de mesure du trafic routier, caméras de surveillance routière, éléments de signalisation en tunnel...

Activité	Maintenance des équipements dynamiques					
Circonstances de travail	En extérieur	Habitacle véhicules	Efforts physiques	Conduite engins/machines	Produits chimiques	Bruit
		Tunnels = espaces confinés				Dégraissants, lubrifiants
Commentaires, spécificités, particularités	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Activités se déroulant toute l'année, 3 à 6 h/j, 1 à 3 j par semaine, en journée ou de nuit</li> <li>• Spécificité des activités de maintenance réalisées dans les tunnels = en espace clos/confiné</li> <li>• Le bruit n'est pas exclu des activités de maintenance = deux sources possibles - source de bruit lié au trafic et lié à l'activité propre des agents</li> <li>• Utilisation des dégraissants / lubrifiants pour la maintenance des équipements.</li> </ul>					

### Préoccupations particulières

**Tunnels** : préoccupations fortes partagées par de nombreuses DIRs du fait de l'exposition plus importante dans un environnement confiné. Besoin de décrire spécifiquement les activités des techniciens de maintenance dans les territoires où il y a des tunnels.

**Locaux situés à proximité immédiate d'infrastructures fortement circulées** : sujet connexe – questionnement sur les expositions additionnelles potentielles que cela peut engendrer pour les travailleurs.

**Remontées des gaz d'échappement / problématiques d'odeurs** : exposition des travailleurs aux gaz d'échappement du véhicule utilisé lors des activités de balisage (circulation du véhicule à allure lente, portes ouvertes, distribution des cônes par l'arrière ou le côté). Problématique peu connue des DIRs représentées. Des émanations d'ammoniac provenant des systèmes de dépollution des oxydes d'azote sur les véhicules plus récents peuvent amener des odeurs.

**Zone d'intervention et déplacements des agents des services depuis le siège** : selon la zone de compétence, les activités de certains travailleurs peuvent nécessiter des déplacements plus importants et sur de plus longues distances qu'une échelle départementale.

### Informations supplémentaires

Plusieurs sources d'informations supplémentaires sont citées.

- Dans les zones urbaines, existence de capteurs avec des mesures fréquentes. Par exemple les DIR disposent de capteurs dans les tunnels en lien avec l'exploitation / la ventilation.
- Etude DIR Nord avec l'appui du CEREMA.
- Etudes d'impacts des infrastructures routières- volet « Air ». Les Personnes ressources sont mobilisables sur ces aspects au sein de la DMR si besoin.

### Discussion

Les points suivants ont été discutés de manière libre.

- Les questionnaires ne se limitent pas à l'exposition à la pollution de l'air mais couvrent d'autres nuisances (bruit par exemple) des travailleurs dans les circonstances globales d'exposition.



- La population de référence à laquelle seront comparées les situations d'exposition identifiées n'a pas encore été définie mais pourrait tenir compte de certains éléments clés (zone géographique, densité de trafic, temps passé dans les environnements intérieurs/à l'extérieur...).
- Les préoccupations vis-à-vis de la pollution de l'air de la part des agents et/ou des instances (CHSCT...) sont à l'origine de la saisine, c'est donc un enjeu majeur national et pas uniquement sur certains territoires. En guise d'illustration, à la DIR Ouest, les préventeurs se sont équipés de micro capteurs pour réaliser une campagne de mesure pour caractériser les activités des travailleurs. Néanmoins, la question du risque routier prédomine toujours fortement au niveau des territoires ruraux (DIR Massif Central).

### **Suite à donner**

Une relance sera faite à l'ensemble des DIRs pour obtenir de nouveaux retours de questionnaires. Un compte rendu de l'audition sera rédigé et soumis pour relecture et validation aux participants.

## « Exposition des travailleurs à la pollution issue du trafic routier et conséquences pour leur santé »

Compte rendu de l'audition de la Fédération nationale du transport de voyageurs (FNTV)

**15 juin 2023 (de 14:00 à 16:30)**

En présentiel (salle Berthelot) et à distance (Teams)

### Étaient présents

#### **Représentants de la FNTV**

- Ingrid Mareschal – Déléguée générale
- Catherine Chapelon – Responsable droit social

#### **Membres du GT :**

Aurélie Charron [AC], Cécile Ducros [CD], Virginie Dunez [VD], Williams Esteve [WE], Claire Le Galliot [CLG], Laurent Gagnepain (président) [LG], Bénédicte Jacquemin [BJ], Salah Khardi [SK], Fabrice Michiels [FM], Christelle Monteil [CM]

#### **Anses :**

Clémence Fourneau [CF], Marion Keirsbulck [MK], Margaux Sanchez [MS]

### Introduction

Tour de table avec présentation des participants.

Rappel des objectifs des auditions menées par l'Anses :

- Avoir une vision globale des circonstances dans lesquelles les travailleurs peuvent être exposés à la pollution issue du trafic routier ;
- Décrire les postes impliquant des activités professionnelles sur ou à proximité de routes sous circulation ;
- Décrire dans quels contextes et conditions ces activités sont réalisées.

La FNTV représente un secteur de 100 000 salariés avec 85% de conducteurs et 15% de fonctions dirigeantes et supports (responsable d'exploitation, gestion de planning, administratifs, etc.).

Les postes concernés par l'exposition à la pollution issue du trafic routier sont les conducteurs. L'âge moyen est de 50 ans avec une ancienneté moyenne de 8 ans et 3 mois (14% moins d'un an ; 21% de 1 à 3 ans ; 28% entre 4 et 7 ans ; 8% entre 8 et 10 ans et 29% des travailleurs ont plus de 10 ans d'ancienneté ; ; 12 % des salariés ont moins de 35 ans). Féminisation faible : 25%.

Il s'agit plutôt d'un métier de reconversion, de fin de carrière ou de complément de salaire (retraités; agriculteurs; emploi de service) en lien avec le type de contrat à temps partiel (contrat en période scolaire – CPS : 600 heures par an a minima, calqué sur le calendrier scolaire, suspension pendant les vacances scolaires). Le temps partiel concerne 40 % de l'effectif. Les contrats sont presque tous (95%) des CDI, bien que l'intérim puisse être utilisé

pour pallier à la pénurie de conducteurs. Une filière d'apprentissage sera ouverte en septembre 2023 pour permettre de rajeunir le personnel.

La FNTV couvre le transport public régulier (transports scolaires et lignes régionales) (80% des activités) qui est complémentaire aux transports occasionnels et de tourisme (piscine, centre sportif, sortie scolaire, voyage associatif, bus longue distance) (20% des activités). Les activités se déroulent majoritairement en zone périurbaine et rurale, ponctuellement en zone urbaine.

### **Postes**

Les postes suivants avec les temps de travail associés à l'accord conventionnel notamment pour la dérogation au temps de travail pour le CPS et la répartition des effectifs sont précisés en séance au cours de l'audition. La discussion s'est concentrée sur les postes de conduite, mais la FNTV inclut aussi des postes de maintenance (mécanique). Les activités quotidiennes de ces travailleurs se déroulent en atelier (vérification de l'état des véhicules, contrôle technique, etc.) ; ils n'interviennent que rarement sur des pannes ou dépannages en bordure de voie sous circulation.

<b>Postes</b>	<b>Fréquence sur ou à proximité de routes sous circulation</b>	<b>Effectifs (n=81 142 totaux)</b>
Conducteur en période scolaire	180 j/an (base 600h/an, moyenne 800h/an)	39%
Conducteur de tourisme	253 j/an	6%
Conducteur de lignes régulières (régionales, nationales ou internationales)		47%
Conducteur de Personnes à Mobilité Réduite	180 j/an(base minimale 550h/an)	5%
3% restants : conducteurs de véhicules de moins de 10 places – répartition au sein de ces postes		

### **Activités**

Les activités sont globalement similaires pour ces postes : Conduite / Accueil / Gestion des aléas. Une synthèse des circonstances de travail est donnée dans le tableau ci-dessous.

<b>Conducteur de transport de voyageurs</b>
<p>A. Conduite et manœuvres en sécurité de tout type de véhicules de transport en commun</p> <p>B. Accueil et information de la clientèle, sécurité et confort</p> <p>Accueillir avec bienveillance et sans discrimination toute personne, particulièrement celles nécessitant une prise en charge spécifique. Utiliser et exploiter les informations transmises par le système embarqué (SAEIV) ou par le service exploitation et informer la clientèle de l'itinéraire, des horaires, de la tarification, des correspondances et de toute modification éventuelle.</p> <p>C. Prévention des risques physiques, mise en œuvre ou application des procédures en cas de situation difficile, d'incident ou d'accident</p> <p>Dans le souci de la sécurité de toute partie prenante au déplacement, adopter un comportement et une attitude visant à prévenir les situations difficiles, les incivilités et le vandalisme.</p>

En extérieur	Habitacle véhicules	Efforts physiques	Conduite engins/ machines	Produits chimiques	Bruit
0	++	+	0	+	0
		Manutention des bagages - Tourisme sur longue distance		Nettoyage avec produits d'entretien – ponctuellement. Surtout le cas pour certains contrats en zone rurale	

- Activités se déroulant **dans le flux de trafic.**
- En fonction du contrat du conducteur :
  - Conducteur en périodes scolaires (CPS) : temps partiel hors congés scolaires, 4 ou 5 jours par semaine, 800h/an minimum pour les contrats à temps partiel annualisé, 600 h min pour les conducteurs en période scolaire selon la convention collective, en journée entre 7 et 10h et 16 et 19h.
  - Conducteur de tourisme selon la saisonnalité : 5 jours par semaine, 1607h/an et toutes heures. Amplitude de travail de 14 heures max (18 heures max en cas de double équipage) avec possibilité de conduite de nuit, seul ou en équipage. La fréquence des pauses est réglementée, toutes les 4 heures et demi sur le transport longue distance, pour au moins 45 minutes.
  - Conducteur de ligne régulière : toutes heures en journée.
  - Conducteur à mobilité réduite : 550h/an – Peuvent être amenés à porter les personnes transportées entre l'UFR et le véhicule
- Circulation en zone rurale ou périurbaine au quotidien, rarement en zone urbaine (tourisme, sortie scolaire).
- Les besoins sont fortement corrélés de la saisonnalité dans le transport scolaire et le transport touristique. Les cas les plus typiques ou fréquents ont été documentés ici.

### **Conditions particulières**

#### **Parc roulant :**

Aujourd'hui, environ 54,5% du parc des autocars est EURO VI (36 300 sur un parc total de 66 600 autocars), avec un âge moyen des véhicules de 7 ans et demi. Le renouvellement est fait au rythme des marchés publics. Les marchés publics de transports scolaires sont les plus précaires. Pour les autocars longue distance, la loi impose un véhicule EURO VI.

**Numérisation** : système embarqué, éthylotest anti-démarrage, géolocalisation en ville, en périphérie, à la campagne, sur de courts ou longs trajets.

**Organisationnel** : contact permanent avec le service d'exploitation et le personnel d'entretien de son entreprise. Un contrôle des horaires et temps de conduite est fait par chronotachygraphe. Les heures supplémentaires sont possibles, sous l'encadrement du code du travail et de la réglementation sociale européenne.

#### **Suite à donner**

Un compte rendu de l'audition sera rédigé et soumis pour relecture et validation aux participants. Il est convenu que des informations complémentaires sur les conducteurs de personnes à mobilité réduite pourront être apportées au compte-rendu de l'audition.

## Annexe 6 : Déterminants de l'exposition des travailleurs exerçant leurs activités sur les voies de circulation ou à proximité du trafic routier

Les tableaux ci-dessous décrivent la direction des impacts des déterminants sur les émissions de polluants par le trafic routier, les concentrations en polluants observées sur les voies ou à proximité du trafic routier et l'exposition des travailleurs à ces polluants. Le symbole ↗ témoigne d'une augmentation, ↘ témoigne d'une diminution, et ↗↘ traduit une influence variable selon d'autres facteurs, tel que le polluant ou la localisation.

### 1) Déterminants liés aux caractéristiques du trafic routier à proximité du travailleur réalisant une activité sur ou en bordure de voie

Déterminant	Tendance de l'impact	Documentation pour l'impact sur les émissions de polluants	Documentation pour l'impact sur les concentrations en polluants	Documentation pour l'impact sur les expositions	Commentaire général
Composition du parc automobile / technologie	↘	Globalement, diminution des émissions attendue avec le rajeunissement du parc <i>via</i> les normes Euro d'homologation des véhicules (Cerema 2021, 2024)	Baisse des concentrations de polluants en proximité du trafic avec le rajeunissement du parc et son électrification (De Nunzio <i>et al.</i> 2020; Cerema 2019b)		
Part de véhicules lourds dans le trafic	↗	Les émissions unitaires des véhicules lourds sont plus importantes que celles des véhicules légers (Cerema 2021)	Concentration plus élevée en proximité des routes avec un taux de poids lourds plus élevé (De Nunzio <i>et al.</i> 2020; Cerema 2019b)		
Débit de véhicules ( <i>débit = nombre de véhicules par unité de temps</i> )	↗	Mécaniquement, plus on augmente le nombre de sources d'émissions (ici, les véhicules) plus on augmente les émissions totales.	Le trafic moyen journalier annuel a une influence sur les taux de surconcentrations (en dioxyde d'azote, PM <sub>10</sub> , monoxyde de carbone et benzène) aux abords des infrastructures routières (Cerema 2019b). Une augmentation du trafic entraîne une augmentation des concentrations de polluants traceurs du trafic (dioxyde d'azote, PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> ) (Font <i>et al.</i> 2014).		Il existe un lien avec d'autres déterminants documentés ici : congestion du trafic et horaires.

Déterminant	Tendance de l'impact	Documentation pour l'impact sur les émissions de polluants	Documentation pour l'impact sur les concentrations en polluants	Documentation pour l'impact sur les expositions	Commentaire général
Vitesse limite des véhicules	↗ (pour les véhicules légers) ↘ (pour les poids lourds)	Au-dessus de 70 km/h, les réductions de vitesse ont un effet plutôt positif sur les émissions de particules et d'oxydes d'azote (ADEME 2014). En dessous de 70 km/h, cet effet est plutôt négatif. Un différentiel des émissions est observé selon la vitesse moyenne des véhicules légers et poids lourds (Cerema 2021). Une diminution des émissions hors-échappement est attendue avec la diminution de la vitesse.	Surconcentrations selon différentes vitesses de véhicules particuliers, véhicules utilitaires légers et poids lourds (Cerema 2019b).		Il existe un lien avec d'autres déterminants documentés ici : type ou nature de la route.
Congestion du trafic	↗	La congestion augmente les émissions à cause des plus nombreuses accélérations et décélérations ; les facteurs d'émissions HBEFA prennent en compte le niveau de saturation du trafic (HBEFA 2022).	A trafic équivalent sur les voies express, les valeurs de surconcentrations sont quasi similaires entre la situation fluide ou congestionnée, en lien avec les courbes en U des émissions de véhicules légers. Par contre, on observe une baisse des surconcentrations sur les voies de type urbaine où la vitesse hors congestion est plus faible. La fluidité du trafic abaisse les concentration d'oxydes d'azote et PM <sub>10</sub> à proximité des voies de circulation (Bel et Rosell 2013).		Il existe un lien avec d'autres déterminants documentés ici : débit de véhicules et horaires.
Horaires de pointe (matin, soir)	↗	Les heures de pointes impactent les émissions à la hausse, par le biais de la congestion et du débit de véhicules.	Une augmentation des concentrations à proximité du trafic est observée pendant les horaires de pointes (Charron et Harrison 2005; Mehel <i>et al.</i> 2019; Polo-Rehn 2013).		Il existe un lien avec d'autres déterminants documentés ici : congestion et débit de véhicules.
Pente	↗	Les émissions augmentent avec la pente (Cerema 2021).	Les concentrations de polluants à proximité des routes augmentent avec la pente (Cerema 2019b).		

Déterminant	Tendance de l'impact	Documentation pour l'impact sur les émissions de polluants	Documentation pour l'impact sur les concentrations en polluants	Documentation pour l'impact sur les expositions	Commentaire général
Type ou nature de route*	↗	Si la circulation est fluide, les émissions sur autoroute et en ville sont plus importantes que sur route de campagne ; les facteurs d'émissions HBEFA prennent en compte la situation de trafic (HBEFA 2022).	Les concentrations de polluants sont plus fortes sur les axes autoroutiers ou sur les grands axes routiers des agglomérations, en lien par exemple avec le nombre et le débit de véhicules et la vitesse limite (Cerema 2019b).		Il existe un lien avec d'autres déterminants documentés ici : vitesse limite, congestion et débit des véhicules et zone urbaine. Le type ou la nature de route est également lié à d'autres facteurs non décrits ici tels que la largeur de la route et les conditions générales de circulation.

\* Autoroutes, voies rapides, périphériques, roades / routes de grandes agglomérations / routes de plus petites villes / routes de campagne.



## 2) Déterminants liés à l'environnement autour de la voie de circulation sur ou à proximité de laquelle le travailleur réalise son activité

Déterminant	Tendance de l'impact	Documentation pour l'impact sur les émissions de polluants	Documentation pour l'impact sur les concentrations en polluants	Documentation pour l'impact sur les expositions	Commentaire général
Zones urbaines et péri-urbaines	↗	Les émissions sont attendues en hausse, en lien avec d'autres déterminants : congestion, vitesse limite, type ou nature de route, infrastructures routières et topographie.	Les concentrations de polluants sont plus fortes sur les axes autoroutiers ou sur les grands axes routiers des agglomérations (Cerema 2019b).		Des observations inverses sont observées pour les zones rurales. L'environnement urbain est lié à d'autres déterminants documentés ici : Lien avec d'autres déterminants : congestion, vitesse limite, infrastructures routières et topographie. L'environnement urbain est également lié à d'autres facteurs non décrits ici tels que la densité de population.
<u>Topographie</u> : vallée	↗	Non concerné	Les concentrations sont généralement plus élevées en fond de vallée à cause d'une possible accumulation de polluants (Pascal <i>et al.</i> 2017).		Les inversions thermiques sont fréquentes en vallée lors de situation anticycloniques en hiver.
<u>Topographie</u> : rue canyon*	↗↘	Non concerné	En cas de vent perpendiculaires à la route, les concentrations sur un trottoir seront plus élevées que sur l'autre (Charron et Harrison 2005).		Les tendances sont variables selon la direction du vent, le positionnement du travailleur et la topographie.
<u>Topographie</u> : terrain plat découvert	↘	Non concerné	Dilution plus forte des polluants donc baisse des concentrations de polluants plus rapide en fonction de la distance à la voie de circulation.		

Déterminant	Tendance de l'impact	Documentation pour l'impact sur les émissions de polluants	Documentation pour l'impact sur les concentrations en polluants	Documentation pour l'impact sur les expositions	Commentaire général
Infrastructures routières	↗↘	Les aménagements routiers de type stop, rond-point, ralentisseurs ou feu de circulation n'ont pas le même impact sur les émissions des véhicules (Laraki <i>et al.</i> 2022).	Les concentrations de polluants à proximité des voies de circulation varient suivant les aménagements urbains, en lien avec la vitesse des véhicules notamment. Les recirculations d'air (vortex) peuvent générer des zones de plus fortes concentrations que d'autres autour des intersections (Soulhac <i>et al.</i> 2009).	Les plus fortes expositions en vélo sont mesurées au niveau d'intersections (par ex : feux et rond-point) en lien avec le freinage ou l'accélération des véhicules (Gelb et Apparicio 2021).	Il existe un lien avec d'autres déterminants documentés ici : vitesse limite et topographie. Plus généralement, les tendances sont variables selon la direction du vent, le positionnement du travailleur et la topographie.
Tunnel	↗	Non concerné	Les concentrations augmentent en espace confiné en lien avec l'absence de dispersion. De très fortes concentrations sont observées dans la littérature (Marinello, Lolli et Gamberini 2020).		
Vitesse du vent faible	↗ en général	Non concerné	La vitesse du vent influe considérablement les concentrations en proximité de voies (Charron et Harrison 2005) ; un vent faible est généralement associé à des concentrations plus élevées.		On peut noter qu'en cas de vent faible, les turbulences générées par le trafic routier deviennent plus importantes (Fallah Shorshani <i>et al.</i> 2015).
Précipitations	↘	Les conditions humides (pluie ou humidité relative) diminuent la remise en suspension des poussières (en lien avec le lessivage des chaussées ou la diminution de la mobilité des poussières) (Padoan <i>et al.</i> 2018; Casotti Rienda et Alves 2021).	Les précipitations sont associées à une diminution des concentrations, surtout en particules (DeWitt <i>et al.</i> 2015; Polo-Rehn 2013). Les impacts sont moindres sur les concentrations dues aux émissions à l'échappement (par exemple, le carbone suie) qui sont continuellement renouvelées.		Ce déterminant est lié à l'humidité relative, un facteur non décrit ici.

Déterminant	Tendance de l'impact	Documentation pour l'impact sur les émissions de polluants	Documentation pour l'impact sur les concentrations en polluants	Documentation pour l'impact sur les expositions	Commentaire général
Températures faibles	↗	Pour les très faibles températures, une augmentation des émissions à l'échappement est observée (HBEFA 2022). Les très basses températures nécessitant un salage des routes provoquent un pic de remise en suspension des particules après le dégel (Fussell <i>et al.</i> 2022).	Une augmentation des nombres de particules ultrafines émises par le trafic routier (provenant de molécules de faible volatilité) est observée aux températures faibles (Charron et Harrison 2003). Des plus, de faibles températures favorisent la formation de nouvelles particules par nucléation dans l'atmosphère, avec impact sur les nombres de particules ultrafines (Easter et Peters 1994).		Il existe un lien avec d'autres déterminants documentés ici : température élevées et inversions thermiques. Ce déterminant est également lié à l'humidité relative, un facteur non décrit.
Températures élevées	↗↘	Les températures élevées sont associées à de plus faibles émissions mais ont une influence inverse sur la remise en suspensions des poussières (Padoan <i>et al.</i> 2018; Casotti Rienda et Alves 2021).	Associées aux ultraviolets, les températures élevées augmentent la formation d'ozone et d'aérosols secondaires, surtout en zones péri-urbaines et rurales sous influence des villes. L'augmentation des températures est associée à une diminution des particules ultrafines en nombre (Charron et Harrison 2003).	L'augmentation des températures associée à une charge physique de travail élevée est susceptible d'accroître l'exposition des travailleurs aux substances chimiques en potentialisant l'augmentation du débit de ventilation.	Il existe un lien avec d'autres déterminants documentés ici : température faibles et inversions thermiques. Ce déterminant est également lié à l'humidité relative, un facteur non décrit.
Inversions thermiques	↗	Non concerné	Les inversions thermiques augmentent les concentrations par le biais d'une absence de dispersion et d'un volume d'air constant et stable).		Ce déterminant est lié à d'autres documentés ici : températures faibles et température élevées

Déterminant	Tendance de l'impact	Documentation pour l'impact sur les émissions de polluants	Documentation pour l'impact sur les concentrations en polluants	Documentation pour l'impact sur les expositions	Commentaire général
Direction du vent	↗↘	Non concerné	Les concentrations sous le vent de la zone d'émission ( <i>downwind</i> ) vont souvent être plus importantes que les concentrations <i>upwind</i> . Mais la dispersion atmosphérique due à la turbulence générée par le trafic routier va aussi impactée les concentrations <i>upwind</i> (Fallah Shorshani <i>et al.</i> 2015). Les rues canyon et les infrastructures (par ex : intersections) complexifient l'influence des vents.		Les tendances sont variables selon le positionnement, la topographie et la vitesse du vent.

\*Rue étroite bordée en continu par de grands bâtiments. \*\* Zone urbaine bâtie en continu ou majoritairement bâtie.

### 3) Déterminants liés à l'activité réalisée par le travailleur

Déterminant	Tendance de l'impact	Documentation pour l'impact sur les émissions de polluants	Documentation pour l'impact sur les concentrations en polluants	Documentation pour l'impact sur les expositions	Commentaire général
Positionnement : au milieu de la route (incluant présence dans un habitacle)	↗	Non concerné	Les concentrations dans l'habitacle sont généralement supérieures aux concentrations juste à l'extérieur du véhicule (Ineris 2017; Mehel <i>et al.</i> 2019; Ravelomanantsoa <i>et al.</i> 2021) ; les concentrations sont plus élevées à proximité directe des véhicules émetteurs. Les concentrations mesurées dans le trafic, dans ou en dehors de l'habitacle, sont supérieures à celles mesurées en bordures de voies (Ineris 2017; Mehel <i>et al.</i> 2019; Ravelomanantsoa <i>et al.</i> 2021).		Ce déterminants est lié à d'autres documentés ici : topographie, type et nature de route, infrastructures routières.

Déterminant	Tendance de l'impact	Documentation pour l'impact sur les émissions de polluants	Documentation pour l'impact sur les concentrations en polluants	Documentation pour l'impact sur les expositions	Commentaire général
Positionnement : au bord de la route	↘	Non concerné	Les concentrations diminuent avec la distance croissante à la voie (Cerema 2019b).		
Durée de l'activité	↗	Non concerné	Non concerné	Hausse mécanique de l'exposition avec la durée de la présence des travailleurs à proximité du trafic	
Fréquence de l'activité	↗	Non concerné	Non concerné	Hausse mécanique de l'exposition avec la fréquence de la présence des travailleurs à proximité du trafic	
Moment de la journée	↗↘				Ce déterminant est lié à d'autres documentés ici : congestion du trafic, horaires de pointes et débit de véhicules.
Intensité de l'activité physique	↗	Non concerné	Non concerné	L'activité physique est susceptible d'accroître l'exposition aux substances chimiques par le biais de l'augmentation de la quantité d'air inspiré et du débit de ventilation.	
Réalisation de tâches émissives	↗	Non concerné	Mécaniquement, si la tâche réalisée est émettrice des mêmes polluants que le trafic, les concentrations mesurées seront augmentées.		
Volume croissant de l'habitacle (véhicules légers et poids lourds < autobus et autocars)	↘	Non concerné	Un volume croissant est associé à une diminution des concentrations. Ainsi, les concentrations sont plus élevées dans les véhicules légers et les poids lourds que dans les autobus ou autocars (Ravelomanantsoa <i>et al.</i> 2021).		Les mêmes observations sont faites pour les poids lourds et les engins non routiers.

Déterminant	Tendance de l'impact	Documentation pour l'impact sur les émissions de polluants	Documentation pour l'impact sur les concentrations en polluants	Documentation pour l'impact sur les expositions	Commentaire général
Ventilation (en habitacle)	↗↘	Non concerné	Les concentrations d'oxydes d'azote, PM <sub>10</sub> et PM <sub>2,5</sub> sont plus fortes dans l'habitacle en mode de ventilation air extérieur par rapport au mode air recyclé mais plus faibles en composés organiques volatils (Mehel <i>et al.</i> 2024; Mehel <i>et al.</i> 2019). Les concentrations de polluants dans l'habitacle sont plus élevées lorsque l'on augmente le débit de la ventilation ou lorsque l'on ouvre les vitres.		
Ancienneté du véhicule (en habitacle)	↗	Non concerné	L'ancienneté du véhicule diminue son étanchéité globale et accentue ainsi la pénétration des polluants extérieurs dans l'habitacle (Mehel <i>et al.</i> 2024; Mehel <i>et al.</i> 2019). Par ailleurs, l'ancienneté du filtre à air dégrade son efficacité.		

## Annexe 7 : Description des données de concentrations recueillies pour estimer les expositions

### Aldéhydes

Aldéhydes		Concentrations ambiantes en situation de fond					Concentrations ambiantes en proximité trafic					Concentrations équivalentes habitacles			
Polluant (unité)	Type de valeur	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	moy (sd)	p10	p50	p95
Formaldéhyde ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Horaire (4h)	1 (56) / 2011	1,1 (0,6)	0,5	1,1	2,3	1 (57) / 2011	1,7 (1,0)	0,7	1,5	3,0	NC			
	Horaire 7-19 Lun-Ven	1 (23) / 2011	1,0 (0,4)	0,5	0,9	1,6	1 (23) / 2011	2,1 (0,8)	1,1	2,2	3,0	NC			

Moy : moyenne ; N : nombre ; NC : non calculable en l'absence de ratio entre concentrations ambiantes et concentrations habitacles ; sd : déviation standard ; p10 : 10<sup>ème</sup> percentile ; p50 : 50<sup>ème</sup> percentile (=médiane) ; p95 : 95<sup>ème</sup> percentile ; lun-ven : les concentrations ont été restreintes aux jours traditionnellement travaillés (du lundi au vendredi) ; 7-19 : les concentrations ont été restreintes aux horaires traditionnellement travaillés (de 7 heures à 19 heures).

### Composés inorganiques

Composés inorganiques		Concentrations ambiantes en situation de fond					Concentrations ambiantes en proximité trafic					Concentrations équivalentes habitacles			
Polluant (fraction le cas échéant) (unité)	Type de valeur	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	moy (sd)	p10	p50	p95
Ammoniac ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Journalière	7 (3 400) / 2020 - 2022	4,6 (3,4)	1,3	3,9	11,0	1 (137) / 2021	6,4 (4,4)	2,4	5,7	16,0	NC			
	Journalière Lun-Ven	7 (2 408) / 2020 - 2022	4,7 (3,6)	1,4	3,9	11,0	1 (90) / 2021	6,6 (4,7)	2,5	5,8	17,1	NC			
	Hebdomadaire	2 (47) / 2022 - 2022	1,5 (1,1)	0,2	1,3	3,5	2 (44) / 2022	3,2 (1)	1,6	3,4	4,5	NC			
	Annuelle	8 (10) / 2021 - 2022	4,1 (2,1)	2,0	4,6	6,8	2 (2) / 2022	3,2 (0,4)	3,0	3,2	3,5	NC			
	Annuelle Lun-Ven	6 (9) / 2021 - 2022	5,2 (2,1)	3,1	5,0	8,5	0 /								



Composés inorganiques		Concentrations ambiantes en situation de fond					Concentrations ambiantes en proximité trafic					Concentrations équivalentes habitacles			
Polluant (fraction le cas échéant) (unité)	Type de valeur	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	moy (sd)	p10	p50	p95
Dioxyde d'azote (µg.m <sup>-3</sup> )	Horaire validée	330 (4 836 160) / 2017 - 2022	15,2 (14,4)	2,8	10,4	45,4	135 (1 844 232) / 2017 - 2022	36,2 (24,4)	10,2	30,9	83,0	43,4 (29,3)	12,2	37,1	99,6
	Journalière	330 (565 185) / 2017 - 2022	14,0 (10,5)	3,5	11,0	35,0	135 (215 676) / 2017 - 2022	29,1 (17,5)	9,9	26,0	62,0	34,9 (21)	11,9	31,2	74,4
	Journalière Lun-Ven	330 (402 859) / 2017 - 2022	15,0 (10,8)	4,0	12,0	36,0	135 (153 747) / 2017 - 2022	31 (17,7)	11,0	28,0	65,0	37,2 (21,3)	13,2	33,6	78,0
	Journalière 7-19 Lun-Ven	330 (402 543) / 2017 - 2022	15,2 (11,8)	3,6	11,9	38,8	135 (153 769) / 2017 - 2022	36,2 (21,1)	12,2	32,8	75,4	43,4 (25,3)	14,6	39,3	90,5
	Annuelle	313 (1 555) / 2017 - 2022	14,0 (6,6)	6,0	13,0	26,3	130 (602) / 2017 - 2022	29,2 (12,9)	14,0	28,0	52,9	35,1 (15,5)	16,8	33,6	63,5
	Annuelle Lun-Ven	310 (1 574) / 2017 - 2022	14,9 (7,0)	6,9	14,1	28,2	123 (599) / 2017 - 2022	31,2 (13,3)	15,9	29,9	55,7	37,5 (15,9)	19,1	35,9	66,8
	Annuelle 7-19 Lun-Ven	310 (1 557) / 2017 - 2022	15,2 (7,0)	6,8	14,4	28,0	125 (595) / 2017 - 2022	36,4 (15,5)	18,4	35,1	64,0	43,6 (18,6)	22,0	42,1	76,8
Ions nitrates NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (PM <sub>1</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Horaire (4h)	1 (125) / 2018	455,3 (239,4)	276,7	402,8	824,1	0 /								
	Horaire 7-19 Lun-Ven	1 (44) / 2018	372,2 (92,6)	271,6	356,2	492,0	0 /								
Ions nitrates NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (PM <sub>10</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Horaire (4h)	2 (139) / 2011 - 2015	9 606,6 (10 582,6)	277,0	7 670,8	33 429,8	1 (56) / 2011	547,7 (306,6)	214,8	477,5	980,6	NC			
	Horaire 7-19 Lun-Ven	2 (48) / 2011 - 2015	9 945,7 (11 675,1)	296,7	7 258,4	37 853,8	1 (23) / 2011	664,9 (368,6)	301,0	739,2	987,8	NC			
	Journalière	22 (7 541) / 2008 - 2023	2 222,1 (3 165,4)	265,8	1 072,6	8 539,3	3 (496) / 2013 - 2015	4 195,5 (5 416,0)	479,0	2 052,2	1 3840,0	NC			
	Journalière Lun-Ven	22 (4 371) / 2008 - 2023	2 291,6 (3 225,7)	269,2	1 111,2	8 906,3	3 (284) / 2013 - 2015	4 512,9 (5 644,2)	496,3	2 123,6	1 4851,7	NC			
	Hebdomadaire	1 (144) / 2011 - 2014	1 650,6 (2 563,3)	204,6	624,5	7 199,5	0 /								
	Annuelle Lun-Ven	1 (1) / 2019	Une seule valeur, non exploitée				0 /								

Composés inorganiques		Concentrations ambiantes en situation de fond					Concentrations ambiantes en proximité trafic					Concentrations équivalentes habitacles			
Polluant (fraction le cas échéant) (unité)	Type de valeur	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	moy (sd)	p10	p50	p95
Ions nitrates NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (PM <sub>2,5</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Journalière	3 (1 034) / 2011 - 2022	1 845,3 (4 172,0)	50,8	388,7	8 693,6	0 /								
	Journalière Lun-Ven	3 (700) / 2011 - 2022	1 748,9 (4 321,4)	51,8	389,1	7 861,9	0 /								

Moy : moyenne ; N : nombre ; NC : non calculable en l'absence de ratio entre concentrations ambiantes et concentrations habitacles ; sd : déviation standard ; p10 : 10<sup>ème</sup> percentile ; p50 : 50<sup>ème</sup> percentile (=médiane) ; p95 : 95<sup>ème</sup> percentile ; lun-ven : les concentrations ont été restreintes aux jours traditionnellement travaillés (du lundi au vendredi) ; 7-19 : les concentrations ont été restreintes aux horaires traditionnellement travaillés (de 7 heures à 19 heures).

### Hydrocarbures

Hydrocarbures		Concentrations ambiantes en situation de fond					Concentrations ambiantes en proximité trafic					Concentrations équivalentes habitacles			
Polluant (unité)	Type de valeur	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	moy (sd)	p10	p50	p95
Anthracène* (ng.m <sup>-3</sup> )	Horaire (4h)	1 (40) / 2011	4.10 <sup>-3</sup> (3.10 <sup>-3</sup> )	2.10 <sup>-3</sup>	4.10 <sup>-3</sup>	8.10 <sup>-3</sup>	1 (56) / 2011	1.10 <sup>-2</sup> (1.10 <sup>-2</sup> )	4.10 <sup>-3</sup>	1.10 <sup>-2</sup>	3.10 <sup>-2</sup>	3.10 <sup>-2</sup> (2.10 <sup>-2</sup> )	7.10 <sup>-3</sup>	2.10 <sup>-2</sup>	0,1
	Horaire 7-19 Lun-Ven	1 (15) / 2011	5.10 <sup>-3</sup> (3.10 <sup>-3</sup> )	2.10 <sup>-3</sup>	4.10 <sup>-3</sup>	1.10 <sup>-2</sup>	1 (23) / 2011	2.10 <sup>-2</sup> (1.10 <sup>-2</sup> )	5.10 <sup>-3</sup>	1.10 <sup>-2</sup>	3.10 <sup>-2</sup>	3.10 <sup>-2</sup> (3.10 <sup>-2</sup> )	1.10 <sup>-2</sup>	3.10 <sup>-2</sup>	0,1
	Journalière	5 (1 582) / 2013 - 2015	0,3 (0,4)	8.10 <sup>-2</sup>	0,2	0,8	1 (327) / 2013 - 2014	0,9 (0,6)	0,3	0,7	1,6	1,7 (1,1)	0,7	1,5	3,2
	Journalière Lun-Ven	5 (772) / 2013 - 2015	0,3 (0,5)	8.10 <sup>-2</sup>	0,2	0,9	1 (158) / 2013 - 2014	0,9 (0,6)	0,3	0,7	1,6	1,7 (1,1)	0,7	1,5	3,2
	Annuelle	4 (8) / 2013 - 2015	3.10 <sup>-1</sup> (7.10 <sup>-2</sup> )	0,3	0,3	0,4	1 (2) / 2013 - 2014	9.10 <sup>-1</sup> (6.10 <sup>-2</sup> )	0,8	0,9	0,9	1,7 (0,1)	1,6	1,7	1,8
Benzène (µg.m <sup>-3</sup> )	Hebdomadaire + Journalière	32 (3 534) / 2017 - 2023	0,8 (0,6)	0,3	0,7	1,8	47 (6 513) / 2017 - 2023	1,0 (0,7)	0,2	0,8	2,4	2,2 (1,6)	0,5	1,8	5,3
	Annuelle	33 (109) / 2017 - 2022	1,0 (0,3)	1,0	1,0	1,0	48 (164) / 2017 - 2022	1,2 (0,5)	1,0	1,0	2,0	2,7 (1,1)	2,2	2,2	4,4

Hydrocarbures		Concentrations ambiantes en situation de fond					Concentrations ambiantes en proximité trafic					Concentrations équivalentes habitacles			
Polluant (unité)	Type de valeur	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	moy (sd)	p10	p50	p95
Benzo[a]anthracène* (ng.m <sup>-3</sup> )	Horaire (4h)	1 (40) / 2011	6.10 <sup>-2</sup> (5.10 <sup>-2</sup> )	1.10 <sup>-2</sup>	5.10 <sup>-2</sup>	0,18	1 (56) / 2011	0,2 (0,2)	5.10 <sup>-2</sup>	0,1	0,4	0,3 (0,3)	0,1	0,2	0,7
	Horaire 7-19 Lun-Ven	1 (15) / 2011	6.10 <sup>-2</sup> (6.10 <sup>-2</sup> )	2.10 <sup>-2</sup>	5.10 <sup>-2</sup>	0,20	1 (23) / 2011	0,2 (0,1)	7.10 <sup>-2</sup>	0,1	0,3	0,3 (0,2)	0,1	0,3	0,6
	Journalière	48 (12 795) / 2017 - 2023	0,2 (0,6)	1.10 <sup>-2</sup>	3.10 <sup>-2</sup>	0,77	8 (1 762) / 2017 - 2023	0,2 (0,3)	2.10 <sup>-2</sup>	8.10 <sup>-2</sup>	0,6	0,3 (0,6)	4.10 <sup>-2</sup>	0,2	1,2
	Journalière Lun-Ven	48 (7 101) / 2017 - 2022	0,2 (0,6)	1.10 <sup>-2</sup>	3.10 <sup>-2</sup>	0,79	8 (945) / 2017 - 2022	0,2 (0,3)	2.10 <sup>-2</sup>	8.10 <sup>-2</sup>	0,6	0,3 (0,5)	4.10 <sup>-2</sup>	0,2	1,3
	Hebdomadaire	5 (341) / 2017 - 2023	0,1 (0,2)	1.10 <sup>-2</sup>	3.10 <sup>-2</sup>	0,40	1 (23) / 2017 - 2017	0,1 (0,1)	7.10 <sup>-2</sup>	0,1	0,3	0,3 (0,3)	0,1	0,2	0,7
Ethylbenzène (µg.m <sup>-3</sup> )	Hebdomadaire + Journalière	24 (2 404) / 2017 - 2023	0,4 (0,5)	0,1	0,3	1,0	29 (3 870) / 2017 - 2023	0,6 (0,6)	6.10 <sup>-2</sup>	0,4	1,9	1,1 (1,1)	0,1	0,7	3,5
	Annuelle	25 (85) / 2017 - 2022	0,4 (0,3)	0,2	0,3	0,7	29 (100) / 2017 - 2022	0,6 (0,4)	0,2	0,5	1,6	1,2 (0,8)	0,5	0,9	3,0
Fluoranthène* (ng.m <sup>-3</sup> )	Horaire (4h)	1 (40) / 2011	7.10 <sup>-2</sup> (5.10 <sup>-2</sup> )	2.10 <sup>-2</sup>	7.10 <sup>-2</sup>	0,2	1 (56) / 2011	0,3 (0,1)	0,1	0,2	0,5	0,5 (0,3)	0,2	0,5	1,0
	Horaire 7-19 Lun-Ven	1 (15) / 2011	9.10 <sup>-2</sup> (6.10 <sup>-2</sup> )	4.10 <sup>-2</sup>	8.10 <sup>-2</sup>	0,2	1 (23) / 2011	0,3 (0,1)	0,2	0,4	0,5	0,7 (0,3)	0,3	0,7	1,0
	Journalière	5 (962) / 2013 - 2014	1,6 (1,0)	0,8	1,4	3,2	1 (219) / 2013 - 2014	2,9 (1,1)	1,6	2,7	5,0	5,7 (2,2)	3,2	5,4	10,0
	Journalière Lun-Ven	5 (693) / 2013 - 2014	1,7 (1,1)	0,8	1,5	3,2	1 (156) / 2013 - 2014	2,9 (1,2)	1,6	2,6	5,0	5,7 (2,4)	3,2	5,2	10,0
	Annuelle	4 (8) / 2013 - 2014	1,7 (0,3)	1,4	1,8	2,1	1 (2) / 2013 - 2014	2,9 (0,4)	2,7	2,9	3,2	5,8 (0,8)	5,3	5,8	6,3
Naphtalène* (ng.m <sup>-3</sup> )	Journalière	1 (56) / 2013 - 2013	3.10 <sup>-2</sup> (2.10 <sup>-2</sup> )	2.10 <sup>-2</sup>	2.10 <sup>-2</sup>	8.10 <sup>-2</sup>	0 /								
	Journalière Lun-Ven	1 (42) / 2013 - 2013	3.10 <sup>-2</sup> (2.10 <sup>-2</sup> )	2.10 <sup>-2</sup>	2.10 <sup>-2</sup>	6.10 <sup>-2</sup>	0 /								
Phénanthrène* (ng.m <sup>-3</sup> )	Horaire (4h)	1 (40) / 2011	7.10 <sup>-2</sup> (3.10 <sup>-2</sup> )	3.10 <sup>-2</sup>	7.10 <sup>-2</sup>	0,1	1 (56) / 2011	1.10 <sup>-1</sup> (8.10 <sup>-2</sup> )	4.10 <sup>-2</sup>	0,1	0,3	0,3 (0,2)	8.10 <sup>-2</sup>	0,3	0,6
	Horaire 7-19 Lun-Ven	1 (15) / 2011	8.10 <sup>-2</sup> (4.10 <sup>-2</sup> )	3.10 <sup>-2</sup>	8.10 <sup>-2</sup>	0,1	1 (23) / 2011	2.10 <sup>-1</sup> (9.10 <sup>-2</sup> )	2.10 <sup>-2</sup>	0,2	0,3	0,3 (0,2)	5.10 <sup>-2</sup>	0,4	0,5

Hydrocarbures		Concentrations ambiantes en situation de fond					Concentrations ambiantes en proximité trafic					Concentrations équivalentes habitacles			
Polluant (unité)	Type de valeur	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	moy (sd)	p10	p50	p95
	Journalière	5 (1 067) / 2013 - 2015	6,8 (3,7)	3,5	6,1	13,0	1 (219) / 2013 - 2014	12,7 (4,8)	7,5	12,0	21,1	25,4 (9,6)	15,0	24,0	42,2
	Journalière Lun-Ven	5 (762) / 2013 - 2015	6,9 (4,0)	3,5	6,2	13,2	1 (155) / 2013 - 2014	12,7 (5,1)	7,5	11,8	21,7	25,4 (10,2)	15,1	23,6	43,5
	Annuelle	4 (8) / 2013 - 2014	7,1 (0,7)	6,4	7,2	8,1	1 (2) / 2013 - 2014	12,5 (0,7)	12,1	12,5	13,0	25 (1,4)	24,2	25,0	25,9
Pyrène* (ng.m <sup>-3</sup> )	Horaire (4h)	1 (40) / 2011	7.10 <sup>-2</sup> (5.10 <sup>-2</sup> )	2.10 <sup>-2</sup>	6.10 <sup>-2</sup>	0,2	1 (56) / 2011	0,3 (0,2)	0,1	0,3	0,7	0,7 (0,4)	0,2	0,6	1,4
	Horaire 7-19 Lun-Ven	1 (15) / 2011	9.10 <sup>-2</sup> (7.10 <sup>-2</sup> )	3.10 <sup>-2</sup>	8.10 <sup>-2</sup>	0,2	1 (23) / 2011	0,4 (0,2)	0,2	0,5	0,7	0,9 (0,4)	0,4	0,9	1,5
	Journalière	5 (956) / 2013 - 2014	1,3 (1,0)	0,5	1,1	2,8	1 (221) / 2013 - 2014	3,4 (1,6)	1,6	3,2	6,0	6,8 (3,1)	3,2	6,4	12,0
	Journalière Lun-Ven	5 (686) / 2013 - 2014	1,4 (1,1)	0,5	1,1	2,9	1 (156) / 2013 - 2014	3,4 (1,7)	1,6	3,2	6,0	6,8 (3,3)	3,1	6,4	12,1
	Annuelle	4 (8) / 2013 - 2014	1,4 (0,2)	1,2	1,4	1,7	1 (2) / 2013 - 2014	3,5 (0,2)	3,3	3,5	3,6	6,9 (0,4)	6,7	6,9	7,2

Moy : moyenne ; N : nombre ; sd : déviation standard ; p10 : 10<sup>ème</sup> percentile ; p50 : 50<sup>ème</sup> percentile (=médiane) ; p95 : 95<sup>ème</sup> percentile ; lun-ven : les concentrations ont été restreintes aux jours traditionnellement travaillés (du lundi au vendredi) ; 7-19 : les concentrations ont été restreintes aux horaires traditionnellement travaillés (de 7 heures à 19 heures). \* Polluants mesurés en phase particulaire, dans la fraction PM<sub>10</sub>.

## Métaux

Métaux		Concentrations ambiantes en situation de fond					Concentrations ambiantes en proximité trafic					Concentrations équivalentes habitacles			
Polluant (fraction) (unité)	Type de valeur	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	moy (sd)	p10	p50	p95
Antimoine (PM <sub>1</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Horaire (4h)	1 (92) / 2018	9,4 (36,3)	1,9	5,0	10,2	0 /								
	Horaire 7-19 Lun-Ven	1 (32) / 2018	4,2 (2,0)	1,4	4,4	7,6	0 /								
Antimoine (PM <sub>10</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Horaire (4h)	1 (26) / 2011	1,4 (0,8)	0,3	1,5	2,6	1 (57) / 2011	4,1 (2,1)	1,1	4,2	7,7	7,3 (3,8)	2,0	7,5	13,8
	Horaire 7-19 Lun-Ven	1 (14) / 2011	1,1 (0,6)	0,3	1,1	2,0	1 (23) / 2011	5,5 (1,9)	3,5	5,1	8,6	9,8 (3,3)	6,3	9,1	15,4
	Journalière	22 (4 033) / 2011 - 2022	1,0 (2,0)	2.10 <sup>-2</sup>	0,6	3,1	3 (417) / 2013 - 2014	2,9 (2,6)	0,8	2,1	7,6	5,1 (4,6)	1,5	3,8	13,7
	Journalière Lun-Ven	22 (2 278) / 2011 - 2022	1,1 (1,7)	2.10 <sup>-2</sup>	0,7	3,2	3 (239) / 2013 - 2014	3,2 (2,8)	1,0	2,3	8,7	5,7 (5,1)	1,8	4,1	15,6
	Hebdomadaire	4 (1 873) / 2007 - 2022	1,6 (1,5)	0,4	1,2	4,2	0 /								
	Annuelle	3 (5) / 2020 - 2021	8.10 <sup>-1</sup> (9.10 <sup>-2</sup> )	0,7	0,8	0,9	0 /								
Antimoine (PM <sub>2,5</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Journalière	3 (1 032) / 2011 - 2022	0,2 (0,4)	2.10 <sup>-2</sup>	0,2	0,6	0 /								
	Journalière Lun-Ven	3 (699) / 2011 - 2022	0,3 (0,5)	2.10 <sup>-2</sup>	0,2	0,7	0 /								
Baryum (PM <sub>10</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Horaire (4h)	1 (28) / 2011	< LD				1 (57) / 2011	24,3 (13,9)	12,0	24,3	48,9	43,8 (25,1)	21,6	43,7	88,1
	Horaire 7-19 Lun-Ven	1 (15) / 2011	< LD				1 (23) / 2011	31 (15,1)	12,0	31,3	54,4	55,9 (27,2)	21,6	56,3	98,0
	Journalière	21 (3 473) / 2011 - 2022	6,2 (12,3)	1,2	2,8	18,5	2 (250) / 2013 - 2014	17,8 (13,6)	5,8	14,3	46,9	32 (24,4)	10,4	25,8	84,4
	Journalière Lun-Ven	21 (1 965) / 2011 - 2022	6,5 (11,9)	1,3	3,2	19,3	2 (144) / 2013 - 2014	19,3 (14,9)	6,1	14,7	52,4	34,7 (26,8)	11,0	26,4	94,3
	Hebdomadaire	7 (2 319) / 2007 - 2022	9,9 (8,1)	2,9	7,8	22,8	1 (100) / 2013 - 2014	18,9 (6,8)	10,7	19,2	30,0	34,0 (12,3)	19,3	34,5	53,9
	Annuelle	6 (15) / 2013 - 2021	11,2 (5,0)	5,0	11,0	17,2	1 (2) / 2013 - 2014	19 (2,8)	17,4	19,0	20,8	34,2 (5,1)	31,3	34,2	37,4

Métaux		Concentrations ambiantes en situation de fond					Concentrations ambiantes en proximité trafic					Concentrations équivalentes habitacles			
Polluant (fraction) (unité)	Type de valeur	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	moy (sd)	p10	p50	p95
Baryum (PM <sub>2,5</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Journalière	3 (638) / 2011 - 2022	3,3 (23,0)	1,6	1,8	7,3	0 /								
	Journalière Lun-Ven	3 (465) / 2011 - 2022	3,5 (26,9)	1,8	1,8	5,4	0 /								
Chrome (PM <sub>1</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Horaire (4h)	1 (125) / 2018	1,5 (15,8)	0,0	3.10 <sup>-2</sup>	0,3	0 /								
	Horaire 7-19 Lun-Ven	1 (44) / 2018	0,1 (0,2)	0,0	4.10 <sup>-2</sup>	0,5	0 /								
Chrome (PM <sub>10</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Horaire (4h)	1 (28) / 2011	< LD				1 (57) / 2011	8,4 (13,9)	0,0	2,5	44,7	15,1 (25)	0,0	4,5	80,4
	Horaire 7-19 Lun-Ven	1 (15) / 2011	< LD				1 (23) / 2011	11,2 (17,8)	0,0	2,4	51,8	20,2 (32)	0,0	4,4	93,2
	Journalière	20 (3 366) / 2011 - 2022	1,8 (2,8)	0,6	0,9	6,0	1 (92) / 2013 - 2014	8,0 (7,3)	2,0	5,5	19,5	14,4 (13,2)	3,7	9,8	35,1
	Journalière Lun-Ven	20 (1 888) / 2011 - 2022	2,0 (3,2)	0,6	1,0	6,5	1 (56) / 2013 - 2014	7,2 (5)	2,0	5,5	16,8	13,0 (9,0)	3,7	9,8	30,3
	Hebdomadaire	7 (2 425) / 2007 - 2022	6,0 (9)	1,1	3,1	21,6	0 /								
	Annuelle	5 (15) / 2017 - 2021	5,7 (7,4)	2,4	3,9	13,7	0 /								
Chrome (PM <sub>2,5</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Journalière	3 (638) / 2011 - 2022	1,0 (3,5)	0,6	0,6	1,7	0 /								
	Journalière Lun-Ven	3 (464) / 2011 - 2022	1,0 (4,0)	0,6	0,6	1,6	0 /								
Cuivre (PM <sub>1</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Horaire (4h)	1 (125) / 2018	1,6 (2,8)	1.10 <sup>-2</sup>	0,7	5,2	0 /								
	Horaire 7-19 Lun-Ven	1 (44) / 2018	1,3 (1,3)	5.10 <sup>-2</sup>	1,0	3,5	0 /								
Cuivre (PM <sub>10</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Horaire (4h)	2 (117) / 2011 - 2015	13,2 (8,6)	5,0	10,4	29,1	1 (57) / 2011	46,4 (30,2)	13,0	46,8	93,0	83,5 (54,3)	23,3	84,2	167,3
	Horaire 7-19 Lun-Ven	2 (44) / 2011 - 2015	16,3 (9,9)	4,9	13,9	31,2	1 (23) / 2011	69,5 (28,1)	43,7	62,0	128,2	125,0 (50,6)	78,6	111,6	230,7
	Journalière	22 (4 038) / 2011 - 2022	8,7 (11,5)	1,1	5,4	26,9	3 (417) / 2013 - 2014	27,9 (22,5)	8,6	20,9	72,5	50,2 (40,6)	15,5	37,7	130,5

Métaux		Concentrations ambiantes en situation de fond					Concentrations ambiantes en proximité trafic					Concentrations équivalentes habitacles			
Polluant (fraction) (unité)	Type de valeur	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	moy (sd)	p10	p50	p95
	Journalière Lun-Ven	22 (2 279) / 2011 - 2022	9,7 (12,6)	1,2	6,1	29,3	3 (239) / 2013 - 2014	30,9 (23,9)	10,2	22,9	79,6	55,6 (42,9)	18,4	41,2	143,2
	Hebdomadaire	7 (2 282) / 2007 - 2022	12,7 (10,6)	3,5	10,6	29,9	0 /								
	Annuelle	5 (13) / 2017 - 2021	11,3 (4,7)	6,7	9,1	19,2	0 /								
Cuivre (PM <sub>2,5</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Journalière	3 (1 032) / 2011 - 2022	1,2 (2,9)	0,2	0,6	3,5	0 /								
	Journalière Lun-Ven	3 (699) / 2011 - 2022	1,2 (2,6)	0,2	0,7	3,7	0 /								
Etain (PM <sub>1</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Horaire (4h)	1 (92) / 2018	3,3 (1,8)	1,5	3,0	5,8	0 /								
	Horaire 7-19 Lun-Ven	1 (32) / 2018	3,1 (2,1)	1,4	2,5	5,7	0 /								
Etain (PM <sub>10</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Horaire (4h)	1 (26) / 2011	9,6 (26,0)	0,7	2,1	22,2	1 (57) / 2011	9,8 (7,2)	2,9	9,1	24,9	17,6 (13)	5,3	16,3	44,9
	Horaire 7-19 Lun-Ven	1 (14) / 2011	16,3 (34,6)	0,8	3,4	61,4	1 (23) / 2011	15,3 (7,6)	9,1	12,5	30,1	27,6 (13,6)	16,4	22,4	54,2
	Journalière	20 (3 396) / 2011 - 2022	1,6 (1,9)	0,2	1,2	4,5	1 (92) / 2013 - 2014	4,8 (3,8)	1,4	4,1	10,5	8,6 (6,8)	2,5	7,4	18,9
	Journalière Lun-Ven	20 (1 902) / 2011 - 2022	1,7 (1,9)	0,2	1,3	4,6	1 (56) / 2013 - 2014	4,6 (2,8)	1,8	4,0	9,2	8,4 (5,1)	3,2	7,3	16,5
	Hebdomadaire	1 (144) / 2011 - 2014	0,6 (0,3)	0,2	0,5	1,2	0 /								
Etain (PM <sub>2,5</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Journalière	3 (638) / 2011 - 2022	0,5 (0,7)	5.10-2	0,3	1,5	0 /								
	Journalière Lun-Ven	3 (465) / 2011 - 2022	0,5 (0,8)	5.10-2	0,3	1,5	0 /								
Fer (PM <sub>1</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Horaire (4h)	1 (125) / 2018	42,2 (37,0)	12,5	29,1	117,1	0 /								
	Horaire 7-19 Lun-Ven	1 (44) / 2018	64,8 (46,4)	18,2	53,9	153,9	0 /								



Métaux		Concentrations ambiantes en situation de fond					Concentrations ambiantes en proximité trafic					Concentrations équivalentes habitacles			
Polluant (fraction) (unité)	Type de valeur	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	moy (sd)	p10	p50	p95
Fer (PM <sub>10</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Horaire (4h)	2 (117) / 2011 - 2015	512,7 (448,2)	99,3	394,1	1 262,9	1 (57) / 2011	1227,3 (1121,4)	274,6	1000,7	3648,3	2 209,1 (2 018,5)	494,3	1 801,3	6 566,9
	Horaire 7-19 Lun-Ven	2 (44) / 2011 - 2015	749,3 (584,6)	144,4	641,1	1 946,8	1 (23) / 2011	1928,9 (1320,1)	847,1	1260,7	4610,3	3 472 (2 376,2)	1 524,8	2 269,3	8 298,6
	Journalière	22 (4 038) / 2011 - 2022	225,6 (258,2)	13,3	159,7	661,9	3 (417) / 2013 - 2014	639,1 (557,8)	177,1	458,5	1658,5	1 150,4 (1 004)	318,9	825,4	2 985,4
	Journalière Lun-Ven	22 (2 279) / 2011 - 2022	252,5 (282,8)	18,9	183,3	718,6	3 (239) / 2013 - 2014	725,4 (605,9)	212,1	504,5	1989,5	1 305,6 (1 090,5)	381,9	908,1	3 581,2
	Hebdomadaire	1 (144) / 2011 - 2014	106,5 (96,7)	20,9	68,9	296,3	0 /								
Fer (PM <sub>2,5</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Journalière	3 (1 032) / 2011 - 2022	61,5 (251,5)	7,9	10,1	182,0	0 /								
	Journalière Lun-Ven	3 (699) / 2011 - 2022	70,2 (301,7)	7,9	8,1	211,2	0 /								
Manganèse (PM <sub>1</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Horaire (4h)	1 (125) / 2018	0,4 (0,7)	0,0	6.10 <sup>-2</sup>	1,7	0 /								
	Horaire 7-19 Lun-Ven	1 (44) / 2018	0,7 (1,0)	4.10 <sup>-3</sup>	0,3	3,1	0 /								
Manganèse (PM <sub>10</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Horaire (4h)	2 (117) / 2011 - 2015	12,5 (7,2)	3,5	11,2	24,2	1 (57) / 2011	12,4 (10,5)	3,1	10,1	39,9	22,2 (19)	5,6	18,2	71,8
	Horaire 7-19 Lun-Ven	2 (44) / 2011 - 2015	14,9 (8,8)	2,9	15,7	24,7	1 (23) / 2011	18,9 (13,3)	9,6	13,5	40,7	34 (23,9)	17,4	24,2	73,3
	Journalière	22 (4 037) / 2011 - 2022	5,6 (7,5)	0,9	3,8	16,5	3 (417) / 2013 - 2014	11,8 (10,8)	2,7	8,8	33,5	21,3 (19,4)	4,8	15,9	60,3
	Journalière Lun-Ven	22 (2 279) / 2011 - 2022	6,3 (8,6)	1,1	4,2	18,5	3 (239) / 2013 - 2014	13,6 (11,8)	3,6	9,9	36,9	24,4 (21,3)	6,5	17,9	66,5
	Hebdomadaire	3 (1 629) / 2007 - 2022	6,8 (4,2)	2,5	6,0	14,4	0 /								
Manganèse (PM <sub>2,5</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Journalière	3 (1 032) / 2011 - 2022	2,2 (4,5)	0,2	1,0	7,1	0 /								
	Journalière Lun-Ven	3 (699) / 2011 - 2022	2,2 (4,4)	0,2	1,0	7,3	0 /								

Métaux		Concentrations ambiantes en situation de fond					Concentrations ambiantes en proximité trafic					Concentrations équivalentes habitacles			
Polluant (fraction) (unité)	Type de valeur	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	moy (sd)	p10	p50	p95
Zinc (PM <sub>1</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Horaire (4h)	1 (125) / 2018	8,1 (6,6)	3,0	6,2	18,3	0 /								
	Horaire 7-19 Lun-Ven	1 (44) / 2018	9,8 (8,8)	4,3	6,9	28,4	0 /								
Zinc (PM <sub>10</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Horaire (4h)	1 (26) / 2011	94,7 (133,7)	17,3	45,0	411,0	1 (57) / 2011	67,0 (123,9)	18,3	18,3	211,1	120,6 (223,0)	33,0	33,0	380,0
	Horaire 7-19 Lun-Ven	1 (14) / 2011	136,5 (172,4)	17,3	31,7	452,3	1 (23) / 2011	109,6 (182,8)	18,3	51,2	264,2	197,3 (329,1)	33,0	92,1	475,6
	Journalière	22 (4 038) / 2011 - 2022	20,3 (35,6)	1,9	11,7	64,4	3 (417) / 2013 - 2014	48,1 (52,1)	11,5	33,5	139,8	86,7 (93,7)	20,7	60,3	251,6
	Journalière Lun-Ven	22 (2 279) / 2011 - 2022	23,2 (42,7)	2,5	13,0	78,3	3 (239) / 2013 - 2014	53,0 (58,5)	12,7	35,4	148,2	95,4 (105,3)	22,9	63,6	266,7
	Hebdomadaire	6 (2 181) / 2007 - 2022	35,9 (37,8)	10,6	27,4	85,5	0 /								
Zinc (PM <sub>2,5</sub> ) (ng.m <sup>-3</sup> )	Journalière	3 (1 032) / 2011 - 2022	12,1 (24,1)	1,5	4,6	43,9	0 /								
	Journalière Lun-Ven	3 (698) / 2011 - 2022	12,7 (24,7)	1,5	5,0	45,2	0 /								

LD : limite de détection ; moy : moyenne ; N : nombre ; sd : déviation standard ; p10 : 10<sup>ème</sup> percentile ; p50 : 50<sup>ème</sup> percentile (=médiane) ; p95 : 95<sup>ème</sup> percentile ; lun-ven : les concentrations ont été restreintes aux jours traditionnellement travaillés (du lundi au vendredi) ; 7-19 : les concentrations ont été restreintes aux horaires traditionnellement travaillés (de 7 heures à 19 heures).

## Particules et composés

Particules et composés		Concentrations ambiantes en situation de fond					Concentrations ambiantes en proximité trafic					Concentrations équivalentes habitacles			
Polluant (fraction) (unité)	Type de valeur	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	moy (sd)	p10	p50	p95
Carbone élémentaire ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Horaire (4h)	1 (57) / 2011	1,7 (1,1)	0,5	1,3	3,7	1 (57) / 2011	5,7 (2,3)	2,6	5,9	8,6	20,7 (8,3)	9,5	21,2	31,1
	Horaire 7-19 Lun-Ven	1 (23) / 2011	1,9 (1,3)	0,8	1,3	4,6	1 (23) / 2011	7 (2,2)	4,5	6,8	11,1	25,1 (7,8)	16,2	24,4	39,9
Carbone élémentaire ( $\text{PM}_{10}$ ) ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Horaire (4h)	1 (125) / 2018	1,0 (0,3)	0,6	0,9	1,7	0 /								
	Horaire 7-19 Lun-Ven	1 (44) / 2018	1 (0,4)	0,7	0,9	1,7	0 /								
Carbone élémentaire ( $\text{PM}_{10}$ ) ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Horaire (4h)	1 (91) / 2015	1,2 (0,6)	0,6	1,1	2,3	0 /								
	Horaire 7-19 Lun-Ven	1 (30) / 2015	1,4 (0,6)	0,7	1,4	2,5	0 /								
	Journalière	22 (8 219) / 2007 - 2023	1,2 (1,2)	0,2	0,8	3,3	3 (484) / 2013 - 2015	1,2 (0,9)	0,4	1,0	2,9	2,2 (1,7)	0,8	1,7	5,3
	Journalière Lun-Ven	22 (4 750) / 2007 - 2023	1,3 (1,3)	0,2	0,9	3,6	3 (276) / 2013 - 2015	1,3 (1)	0,5	1,0	3,0	2,4 (1,8)	0,9	1,9	5,3
	Hebdo-madaire	1 (144) / 2011 - 2014	0,3 (0,2)	0,2	0,3	0,7	0 /								
	Annuelle Lun-Ven	2 (2) / 2018 - 2019	1,0 (0,4)	0,8	1,0	1,3	0 /								
Carbone élémentaire ( $\text{PM}_{2,5}$ ) ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Journalière	3 (1 034) / 2011 - 2022	0,3 (0,4)	$8.10^{-2}$	0,2	0,7	0 /								
	Journalière Lun-Ven	3 (700) / 2011 - 2022	0,3 (0,4)	$9.10^{-2}$	0,2	0,7	0 /								
Carbone suie (670 nm*) ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Horaire (4h)	0 /					1 (55) / 2011	5,3 (2,3)	2,1	5,1	8,6	19 (8,2)	7,5	18,3	30,9
	Horaire 7-19 Lun-Ven	0 /					1 (22) / 2011	6,5 (1,9)	4,5	6,3	10,1	23,5 (6,8)	16,0	22,8	36,5
	Journalière	4 (2 789) / 2019 - 2021	1,0 (0,9)	0,4	0,8	2,5	0 /								
	Journalière Lun-Ven	4 (1 999) / 2019 - 2021	1,0 (0,8)	0,4	0,8	2,5	0 /								
	Annuelle	4 (8) / 2019 - 2020	1,0 (0,2)	0,8	1,0	1,2	0 /								

Particules et composés		Concentrations ambiantes en situation de fond					Concentrations ambiantes en proximité trafic					Concentrations équivalentes habitacles			
Polluant (fraction) (unité)	Type de valeur	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	moy (sd)	p10	p50	p95
	Annuelle Lun-Ven	4 (8) / 2019 - 2020	1,0 (0,2)	0,8	1,1	1,3	0 /								
Carbone suie (880 nm*) (µg.m <sup>-3</sup> )	Horaire	41 (350 498) / 2017 - 2022	2,7 (12,8)	0,3	0,7	3,8	9 (73 313) / 2018 - 2022	2,8 (2,8)	0,7	1,9	8,5	10,2 (10,1)	2,6	6,8	30,6
	Journalière	41 (40 416) / 2017 - 2022	2,7 (12,8)	0,3	0,8	3,1	9 (8 403) / 2018 - 2022	2,6 (2,4)	0,8	1,8	7,6	9,4 (8,6)	2,7	6,5	27,3
	Journalière Lun-Ven	41 (28 934) / 2017 - 2022	2,7 (12,7)	0,3	0,8	3,2	9 (6 013) / 2018 - 2022	2,7 (2,4)	0,8	1,9	7,6	9,6 (8,5)	2,9	6,8	27,4
	Journalière 7-19 Lun-Ven	41 (28 909) / 2017 - 2022	2,7 (12,8)	0,3	0,8	3,2	9 (6 077) / 2018 - 2022	2,8 (2,5)	0,8	2,0	7,8	10,1 (8,9)	3,0	7,3	28,2
	Annuelle	37 (110) / 2017 - 2022	2,8 (13,3)	0,6	1,0	1,6	7 (23) / 2018 - 2022	2,4 (1,3)	1,4	2,0	4,8	8,8 (4,8)	5,1	7,2	17,3
	Annuelle Lun-Ven	37 (108) / 2017 - 2022	2,9 (13,3)	0,7	1,1	1,7	7 (23) / 2018 - 2022	2,5 (1,3)	1,5	2,1	4,7	9,0 (4,8)	5,2	7,7	17,0
	Annuelle 7-19 Lun-Ven	37 (107) / 2017 - 2022	2,9 (13,5)	0,7	1,1	1,6	7 (23) / 2018 - 2022	2,6 (1,3)	1,5	2,3	5,0	9,5 (4,9)	5,3	8,1	18,1
Particules ultrafines (10 nm**) (p.cm <sup>-3</sup> )	Journalière	1 (1) / 2022	Une seule valeur, non exploitée				2 (91) / 2022	22 599 (11 761)	8 315	17 387	41 224	NC			
	Journalière Lun-Ven	0 /					2 (65) / 2022 - 2022	23 508 (12 393)	8 223	18 776	44 096	NC			
Particules ultrafines (7 nm**) (p.cm <sup>-3</sup> )	Journalière	14 (4 753) / 2021 - 2022	8 442 (4 891)	4 168	7 395	16 309	2 (584) / 2021 - 2022	9 846 (3 166)	6 513	9 420	15 857	NC			
	Journalière Lun-Ven	14 (3 389) / 2021 - 2022	8 760 (4 862)	4 464	7 707	16 637	2 (412) / 2021 - 2022	10 100 (3 163)	6 868	9 513	16 113	NC			
	Annuelle	10 (10) / 2021 - 2022	8 265 (2 655)	5 680	7 700	12 983	1 (1) / 2022	Une seule valeur, non exploitée							
	Annuelle Lun-Ven	10 (10) / 2021 - 2022	8 579 (2 779)	5 811	8 002	13 482	1 (1) / 2022	Une seule valeur, non exploitée							
PM <sub>10</sub> (µg.m <sup>-3</sup> )	Horaire	289 (4 328 777) / 2017 - 2022	17,0 (12,4)	5,6	14,2	38,9	109 (1 448 426) / 2017 - 2022	24,0 (16,3)	8,9	20,4	52,9	43,2 (29,3)	16,0	36,7	95,2
	Journalière	289 (506 115) / 2017 - 2022	16,1 (9,8)	7,0	14,0	34,0	109 (169 354) / 2017 - 2022	21,0 (11,4)	10,0	19,0	42,0	37,8 (20,6)	18,0	34,2	75,6

Particules et composés		Concentrations ambiantes en situation de fond					Concentrations ambiantes en proximité trafic					Concentrations équivalentes habitacles			
Polluant (fraction) (unité)	Type de valeur	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	N stations (N données) / Période	moy (sd)	p10	p50	p95	moy (sd)	p10	p50	p95
	Journalière Lun-Ven	289 (359 742) / 2017 - 2022	16,6 (9,9)	7,0	14,0	34,0	109 (120 351) / 2017 - 2022	21,9 (11,7)	10,0	19,0	43,0	39,4 (21)	18,0	34,2	77,4
	Journalière 7-19 Lun-Ven	289 (358 145) / 2017 - 2022	17,0 (10,7)	6,8	14,7	36,0	109 (120 265) / 2017 - 2022	24 (13,7)	10,5	21,1	48,8	43,1 (24,6)	18,9	38,0	87,8
	Annuelle	281 (1 396) / 2017 - 2022	16,1 (3,5)	12,0	16,0	22,0	99 (467) / 2017 - 2022	20,9 (5,4)	15,0	20,0	30,0	37,6 (9,6)	27,0	36,0	54,0
	Annuelle Lun-Ven	281 (1 438) / 2017 - 2022	16,5 (3,6)	12,5	16,2	22,4	99 (475) / 2017 - 2022	21,7 (5,6)	16,1	20,8	30,6	39,1 (10,1)	29,0	37,4	55,1
	Annuelle 7-19 Lun-Ven	280 (1 418) / 2017 - 2022	16,9 (4,0)	12,7	16,6	23,5	99 (470) / 2017 - 2022	23,8 (7,0)	17,1	22,3	36,0	42,9 (12,7)	30,8	40,2	64,7
PM <sub>2,5</sub> (µg.m <sup>-3</sup> )	Horaire	181 (2 334 353) / 2017 - 2022	9,0 (10,1)	2,5	7,0	23,4	62 (750 894) / 2017 - 2022	10,9 (8,3)	3,2	8,9	26,7	39,2 (29,8)	11,5	32,0	96,1
	Journalière	181 (263 004) / 2017 - 2022	9,3 (7,1)	3,3	7,3	23,0	62 (86 341) / 2017 - 2022	10,9 (7,5)	4,1	8,9	25,0	39,1 (26,9)	14,8	32,0	90,0
	Journalière Lun-Ven	181 (187 126) / 2017 - 2022	9,3 (7,1)	3,3	7,4	23,0	62 (61 321) / 2017 - 2022	11 (7,4)	4,2	9,1	26,0	39,5 (26,6)	15,1	32,8	93,6
	Journalière 7-19 Lun-Ven	181 (193 403) / 2017 - 2022	9,0 (7,2)	3,1	7,1	22,0	62 (62 230) / 2017 - 2022	10,9 (7,2)	4,1	9,1	24,7	39,2 (25,9)	14,9	32,9	88,8
	Annuelle	171 (722) / 2017 - 2022	9,3 (2,2)	6,0	9,0	13,0	55 (232) / 2017 - 2022	10,9 (2,5)	8,0	10,0	15,0	39,2 (8,9)	28,8	36,0	54,0
	Annuelle Lun-Ven	172 (734) / 2017 - 2022	9,3 (2,2)	6,5	9,3	12,8	55 (238) / 2017 - 2022	11 (2,4)	8,3	10,6	15,5	39,5 (8,7)	29,9	38,3	55,9
	Annuelle 7-19 Lun-Ven	172 (756) / 2017 - 2022	9,0 (2,0)	6,3	8,9	12,3	55 (241) / 2017 - 2022	10,8 (2,6)	8,0	10,5	15,6	38,9 (9,3)	28,9	37,7	56,2

Moy : moyenne ; N : nombre ; NC : non calculable en l'absence de ratio entre concentrations ambiantes et concentrations habitacles ; sd : déviation standard ; p10 : 10<sup>ème</sup> percentile ; p50 : 50<sup>ème</sup> percentile (=médiane) ; p95 : 95<sup>ème</sup> percentile ; lun-ven : les concentrations ont été restreintes aux jours traditionnellement travaillés (du lundi au vendredi) ; 7-19 : les concentrations ont été restreintes aux horaires traditionnellement travaillés (de 7 heures à 19 heures). \*Longueur d'onde considérée pour la mesure optique réalisée. \*\* Limite inférieure du diamètre aérodynamique médian considéré pour la mesure des particules ultrafines.

## Annexe 8 : Valeurs sanitaires de référence (VSR) retenues et valeurs adaptées pour les calculs de risques (VTR<sub>adaptées</sub>)

Polluants	VSR à seuil retenues pour des expositions par inhalation à court terme			Valeurs adaptées pour les calculs de risque (VTR <sub>adaptées</sub> )
	Organisme (année)	Effets critiques	Valeur et unité	Valeur et unité
Ammoniac	VTR Anses (2018)	Irritation respiratoire chez l'Homme	5,9 mg.m <sup>-3</sup>	17,7 mg.m <sup>-3</sup>
Antimoine	MRL ATSDR (2019)	Métaplasie squameuse de l'épiglotte chez la souris	0,001 mg.m <sup>-3</sup>	0,013 mg.m <sup>-3</sup> .
Benzène	VTR Anses (2024)	Diminution de la réponse proliférative des lymphocytes B, diminution des lymphocytes circulants chez la souris	0,029 mg.m <sup>-3</sup>	0,22 mg.m <sup>-3</sup>
Dioxyde d'azote	VG OMS (2021)	Mortalité anticipée toutes causes non accidentelles chez l'Homme	0,025 mg.m <sup>-3</sup>	Aucune adaptation réalisée
Ethylbenzène	VTR Anses (2016)	Effet ototoxique chez le cochon d'Inde	22 mg.m <sup>-3</sup>	189,2 mg.m <sup>-3</sup> (43 ppm) <sup>44</sup>

MRL : minimal risk level ; VG : valeur guide ; VSR : valeur sanitaire de référence ; VTR : valeur toxicologique de référence.

Polluants	VSR à seuil pour des expositions à long terme			Valeurs adaptées pour les calculs de risque (VTR <sub>adaptées</sub> )
	Organisme (année)	Effets critiques	Valeur et unité	Valeur et unité
Ammoniac	VTR Anses (2018)	Diminution de la fonction pulmonaire et augmentation des symptômes respiratoires chez l'Homme	0,5 mg.m <sup>-3</sup>	2,72 mg.m <sup>-3</sup>
Baryum	TCA RIVM (2000)	Augmentation de la pression artérielle et altérations de l'électrocardiogramme chez le rat	0,001 mg.m <sup>-3</sup>	1,60.10 <sup>-2</sup> mg.m <sup>-3</sup>
Benzène	VTR Anses (2024)	Diminution du nombre de lymphocytes B chez l'Homme	0,0097 mg.m <sup>-3</sup>	0,066 mg.m <sup>-3</sup>
Dioxyde d'azote	VG OMS (2021)	Mortalité anticipée toutes causes non accidentelles chez l'Homme	0,010 mg.m <sup>-3</sup>	Aucune adaptation réalisée
Ethylbenzène	VTR Anses (2016)	Effet ototoxique chez le cochon d'Inde	4,3 mg.m <sup>-3</sup>	13,8 mg.m <sup>-3</sup> (3,2 ppm) <sup>45</sup>

TCA : Tolerable Concentration in Air ; VG : valeur guide ; VSR : valeur sanitaire de référence ; VTR : valeur toxicologique de référence.

<sup>44</sup> Les facteurs de conversions utilisés considèrent 1 ppm = 4,4 mg.m<sup>-3</sup> à 20°C et 101,3 kPa soit 1 ppm = 4 400 µg.m<sup>-3</sup>.

<sup>45</sup> Les facteurs de conversions utilisés considèrent 1 ppm = 4,3 mg.m<sup>-3</sup> à 20°C et 101,3kPa donc 1 ppm = 4 300 µg.m<sup>-3</sup>.

Polluants	VSR <u>sans seuil</u> pour des expositions à <u>court terme</u>			VSR adaptées pour les calculs de risque
	Organisme (année)	Effets critiques	Valeur et unité	Valeur et unité
Carbone suie	ERUi Anses (2024)	Augmentation du nombre d'hospitalisations toutes causes cardiovasculaires chez l'Homme	$1,48 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$ (exprimé en carbone élémentaire)	Application d'une pondération temporelle à la VSR $\frac{\text{heures/jour}}{24} \times \frac{\text{jours/semaine}}{7} \times \frac{\text{semaines/an}}{52}$ où les nombres d'heures par jour, de jours par semaine et de semaines par an sont propres à chacun des scénarios considérés
PM <sub>10</sub>	ERUi Anses (2024)	Augmentation du nombre d'hospitalisations toutes causes cardiaques chez l'Homme	• Si $[\text{PM}_{10}] \leq 20 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ : $7,34 \cdot 10^{-8} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$ • Si $[\text{PM}_{10}] > 20 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ : $7,71 \cdot 10^{-9} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1} + 1,33 \cdot 10^{-6}$	
PM <sub>2,5</sub>	ERUi Anses (2024)		• Pour $[\text{PM}_{2,5}] \leq 10 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ : $1,65 \cdot 10^{-7} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$ • Pour $[\text{PM}_{2,5}] > 10 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ : $7,69 \cdot 10^{-9} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1} + 1,56 \cdot 10^{-6}$	

[x] : concentration d'exposition du polluant x ; ERUi : excès de risque unitaire individuel ; VSR : valeur sanitaire de référence.

Polluants	VSR <u>sans seuil</u> pour des expositions à <u>long terme</u>			VSR adaptées pour les calculs de risque
	Organisme (année)	Effets critiques	Valeur et unité	Valeur et unité
Benzène	VTR Anses (2024)	Augmentation de la mortalité par leucémie aiguë myéloïde chez l'Homme	$1,6 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$	Application d'une pondération temporelle à la VSR $\frac{\text{heures/jour}}{24} \times \frac{\text{jours/semaine}}{7} \times \frac{\text{semaines/an}}{52} \times \frac{\text{années emploi}}{84}$ où les nombres d'heures par jour, de jours par semaine, de semaines par an et d'années dans l'emploi sont propres à chacun des scénarios considérés
Anthracène	ERUi Ineris (2018)	Augmentation de l'incidence des tumeurs du tractus respiratoire supérieur (cavité nasale, larynx, trachée) chez le hamster	$6 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$	
Benzo[a]anthracène			$6 \cdot 10^{-5} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$	
Fluoranthène			$6 \cdot 10^{-7} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$	
Phénanthrène			$6 \cdot 10^{-7} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$	
Pyrène			$6 \cdot 10^{-7} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$	
Carbone suie	ERUi Anses (2024)	Décès anticipés toutes causes non accidentelles	$2,86 \cdot 10^{-4} \times [\text{abs}]^3 - 8,24 \cdot 10^{-3} \times [\text{abs}]^2 + 8,00 \cdot 10^{-2} \times [\text{abs}] + 4,49 \cdot 10^{-3}$	
PM <sub>2,5</sub>	ERUi Anses (2024)	chez l'Homme	$2,19 \cdot 10^{-5} \times [\text{PM}_{2,5}]^3 - 1,51 \cdot 10^{-3} \times [\text{PM}_{2,5}]^2 + 3,61 \cdot 10^{-2} \times [\text{PM}_{2,5}] - 8,83 \cdot 10^{-2}$	

[x] : concentration d'exposition du polluant x ; abs : absorbance, terme dérivé du coefficient d'absorption de la lumière par les particules, obtenu par mesure optique et exprimé en m<sup>-1</sup> ; ERUi : excès de risque unitaire individuel ; Ineris : Institut national de l'environnement industriel et des risques ; VSR : valeur sanitaire de référence.



## Annexe 9 : Documentation sur les formes et spéciations des métaux émis par le trafic routier

Métaux et composés	Formes testées dans étude(s) clé(s) pour la dérivation des valeurs sanitaires de référence	Documentation sur les formes émises par le trafic routier ou utilisées pour la fabrication d'équipements automobiles
Aluminium	Lactate d'aluminium (18917-91-4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Oxydes d'aluminium dans les abrasifs (freins) (Piscitello <i>et al.</i> 2021)</li> <li>Élément métallique (Al) et oxyde d'aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dans les particules de frein et dans la chaussée (Beji 2020)</li> <li>Oxyde d'aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) retrouvés dans les poussières de routes (Dousova <i>et al.</i> 2020)</li> </ul>
Antimoine	Trioxyde d'antimoine (1309-64-4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Antimoine provenant des freins sous forme Sb(III) et Sb(IV) (Varrica <i>et al.</i> 2013)</li> <li>Sulfate d'antimoine Sb<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> trouvé dans plaquettes des freins (liants) et trisulfure d'antimoine (Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) trouvé dans plaquettes des freins (lubrifiants) (Grigoratos et Martini 2015)</li> <li>Des mesures dans les sols à proximité d'une autoroute autrichienne montre que Sb(V) et Sb(III) excèdent le niveau naturel des sols, avec Sb(V) qui domine (Amereih <i>et al.</i> 2005)</li> </ul>
Arsenic	Trioxyde d'arsenic (1327-53-3) et arsenic (7440-38-2)	La combustion de combustibles fossiles est la source principale d'As(III) mais en forte baisse depuis 30 ans grâce à la mise en place de réglementation sur les carburant limitant la teneur en arsenic (Dousova <i>et al.</i> 2020)
Baryum	Carbonate de baryum (513-77-9)	Sulfate de baryum (BaSO <sub>4</sub> ) trouvé dans les plaquettes des freins (liants) (Grigoratos et Martini 2015)
Chrome	Composés du chrome III : oxyde de chrome (III) (1308-38-9) (sel insoluble) et sulfate de chrome (III) (10101-53-8) (sel soluble) Composés du chrome VI : trioxyde de chrome (1333-82-0), particules de dichromate de sodium (10588-01-9) et chromate de potassium (7789-00-6)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chrome trouvé dans les plaquettes des freins (fibres) et oxydes de chrome trouvés dans les plaquettes des freins (liants) (Grigoratos et Martini 2015)</li> <li>Chrome (forme non spécifiée) retrouvé dans les disques (Belhocine 2012)</li> <li>La possibilité (ou non) de formation de CrVI en cas d'échauffement (jusqu'à 800°C) n'a pas été documentée</li> <li>La forme hexavalente (CrVI) est principalement liée aux activités humaines. On la retrouve en trace dans les combustibles fossiles solides, le fioul lourd et la biomasse.</li> </ul>
Cuivre	Chlorure de cuivre (inhalation) ; sulfate de cuivre (orale)	Retrouvé dans les disques de frein (Belhocine 2012) mais pas sous forme Cl ni SO <sub>4</sub> .
Fer		<ul style="list-style-type: none"> <li>Formes Fe(II) et Fe(III) retrouvées dans poussières de freins (Kukutschová <i>et al.</i> 2011)</li> <li>Fe<sup>3+</sup>, carbures de fer et ferritique dans les disques de frein) et fer métallique, Fe<sup>3+</sup> et Fe<sup>2+</sup> dans les particules de frein) selon le projet CAREPAF<sup>46</sup></li> <li>Forme Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dans la chaussée (Beji 2020)</li> <li>Les particules grossières émises lors du profil urbain seraient composées majoritairement d'oxydes de fer et de composés de fer ou d'un mélange Si-Fe (Beji 2020)</li> </ul>

<sup>46</sup> <https://bibliaire.ademe.fr/847-cortea-connaissance-et-reduction-des-emissions-de-polluants-dans-l-air-4eme-restitution-du-programme-cortea.html>

Métaux et composés	Formes testées dans étude(s) clé(s) pour la dérivation des valeurs sanitaires de référence	Documentation sur les formes émises par le trafic routier ou utilisées pour la fabrication d'équipements automobiles
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> retrouvés dans les poussières de freins (Dousova <i>et al.</i> 2020)</li> <li>Sur deux sites urbains californiens, Fe(III) retrouvés dans les particules issues de l'usure des freins et du moteur : Fe<sub>10</sub>O<sub>14</sub>(OH)<sub>2</sub> (34-52%) puis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (13-23%) et Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (10-24%) (Pattammattel <i>et al.</i> 2021). Le Fe(0) ne représente que 2 à 6%.</li> </ul>
Manganèse	Oxyde de manganèse (MnO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mn inorganique provenait dans les années 1980-90 de la combustion du MMT (agent antidétonant des carburants)<sup>47</sup></li> <li>Présence de Mn dans les disques de frein (Belhocine 2012)</li> <li>La température de formation des oxydes n'a pas pu être documentées.</li> <li>MnO retrouvés dans les poussières de freins (Dousova <i>et al.</i> 2020)</li> </ul>
Nickel	Composés inorganiques, nickel sulfate, nickel subsulfide, nickel oxide et nickel chloride	Nickel retrouvé dans les disques de frein (Belhocine 2012). La température de formation des oxydes n'a pas pu être documentée.
Titane	Dioxyde de titane (TiO <sub>2</sub> ) sous forme nanométrique (P25)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dioxyde de titane retrouvé dans les peintures (chaussées)</li> <li>Titanate de potassium (K<sub>2</sub>O<sub>5</sub>Ti<sub>2</sub>) dans les plaquettes des freins (fibres) (Grigoratos et Martini 2015). Ce sont des fibres nanostructurées utilisées dans les plaquettes de frein et embrayages voire autre dispositif de friction, qui ne sont pas du TiO<sub>2</sub> sous forme nanométrique.</li> <li>TiO<sub>2</sub> retrouvés dans les poussières de freins dans la littérature identifiée par Dousova <i>et al.</i> (2020)</li> </ul>
Vanadium	Vanadium pentoxide (1314-62-1)	Le pentoxyde de vanadium est considéré comme un élément marqueur de la pollution atmosphérique émise par la combustion de combustibles fossiles, en particulier le pétrole et le charbon, qui constituent le plus grand rejet global de vanadium dans l'atmosphère (Fortoul <i>et al.</i> 2009). La quantité de Vanadium est très variable suivant l'origine du pétrole (Fortoul <i>et al.</i> 2014).
Zinc	Zinc gluconate	Constituant des pneus sous forme oxyde de zinc (ZnO) (Fussell <i>et al.</i> 2022; Piscitello <i>et al.</i> 2021)

Aucune documentation n'a été identifiée concernant le cobalt, ses composés insolubles (Tetroxyde de cobalt (1308-06-1) ; Sulfure de cobalt(II) (1317-42-6) ; Carbonate de cobalt(II) (513-79-1)) ou ses composés solubles (Sel de cobalt(II) (136-52-7) ; Acétate de cobalt(II) (tetrahydrate) (71-48-7) ; Chlorure de cobalt(II) (hexahydrate) (7646-79-9) ; Nitrate de cobalt(II) (hexahydrate) (10141-05-6)). Aucune documentation n'a été identifiée pour l'étain et ses composés (étain inorganique, dibutylétain, tributylétain, di-n-octyltétain, tributyltétain-oxide, triphenyltétain).

<sup>47</sup> [https://reptox.cnesst.gouv.qc.ca/pages/fiche-complete.aspx?no\\_produit=9324](https://reptox.cnesst.gouv.qc.ca/pages/fiche-complete.aspx?no_produit=9324)



# anses

**CONNAÎTRE, ÉVALUER, PROTÉGER**

AGENCE NATIONALE DE SÉCURITÉ SANITAIRE  
de l'alimentation, de l'environnement et du travail

14 rue Pierre et Marie Curie 94701 Maisons-Alfort Cedex  
[www.anses.fr](http://www.anses.fr) — [@Anses\\_fr](https://twitter.com/Anses_fr)