

anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Sélection des polluants à prendre en compte dans les évaluations des risques sanitaires réalisées dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières

Avis de l'Anses
Rapport d'expertise collective

Juillet 2012

Édition scientifique



anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Sélection des polluants à prendre en compte dans les évaluations des risques sanitaires réalisées dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières

Avis de l'Anses

Rapport d'expertise collective

Juillet 2012

Édition scientifique

AVIS

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

relatif à la sélection des polluants à prendre en compte dans les évaluations des risques sanitaires réalisées dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières

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 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 rendus publics.

L'Anses a été saisie le 26 octobre 2010 par les ministères en charge de l'écologie et de la santé, dans le cadre de la révision de la circulaire du 25 février 2005 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 et de la note méthodologique annexée.

La Direction générale de la santé et la Direction générale de la prévention des risques demandent en particulier de :

- Procéder à une analyse des polluants résultant, directement ou non, des émissions du trafic routier et pouvant présenter un danger pour la santé,
- Sélectionner parmi ces polluants, ceux qui, au regard des émissions, des concentrations atmosphériques et des données toxicologiques, seraient à retenir pour l'analyse des effets sur la santé dus à la pollution atmosphérique générée par les infrastructures routières, en précisant à chaque fois, la(les) voie(s) et durée(s) d'exposition, la(les) population(s) cible(s) à considérer, et fournir la liste des polluants qui pourraient être retenus dans les évaluations de risque sanitaire réalisées dans le cadre des études d'impact.

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

L'article L122-1 du code de l'environnement, transposant la Directive 85/337/CEE modifiée, prévoit que « les projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements publics ou privés, qui, par leur nature, leurs dimensions ou leur localisation sont susceptibles d'avoir des incidences notables sur l'environnement ou la santé humaine sont précédés d'une étude d'impact ». La réglementation prévoit que cette étude d'impact porte notamment sur l'analyse des effets du projet sur la pollution de l'air, de l'eau et des sols, le bruit, les vibrations et les déchets.

Des indications méthodologiques sur l'élaboration et le contenu attendu des études d'impact des infrastructures routières sont précisées dans la circulaire interministérielle Equipement/Santé/Écologie du 25 février 2005 et la note méthodologique qui lui est annexée.

S'agissant des projets d'infrastructures routières de grande ampleur (niveau I¹), la circulaire prévoit qu'une étude détaillée des effets sur la santé est requise dans les études d'impacts conformément à la démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires pour seize polluants.

La liste des seize polluants à prendre en compte dans les évaluations de risques sanitaires réalisées dans le cadre de projets d'infrastructures routières s'appuie sur des travaux spécifiques, menés sous l'égide de l'Institut de veille sanitaire (InVS)² et publiés en 2004. Après 3 années de mise en œuvre, la révision de ces documents a été actée en 2009 par les ministères concernés afin de capitaliser les retours d'expérience des parties prenantes. Un groupe plénier, associant les ministères chargés de l'écologie et de la santé, l'InVS, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS), les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) et certains services techniques et déconcentrés des ministères précédemment cités, a été mis en place.

La saisine à l'origine de la présente expertise vise à contribuer à la mise à jour de la note méthodologique et notamment de la liste des seize polluants.

2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

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'expertise relève du domaine de compétences du comité d'experts spécialisé (CES) « Evaluation des risques liés aux milieux aériens ». L'Anses a confié l'expertise au groupe de travail « Infrastructures routières ». Les travaux ont été présentés au CES tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques entre le 4 février 2011 et le 26 juin 2012.

3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES

RESULTAT DE L'EXPERTISE COLLECTIVE

Le comité d'experts spécialisé « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » a adopté les travaux d'expertise collective ainsi que ses conclusions et recommandations, objets du présent rapport lors de sa séance du 26 juin 2012 et a fait part de cette adoption à la direction générale de l'Anses.

• Identification des polluants

Plus de trois cent quatre vingts polluants ont été recensés en lien avec des infrastructures routières dans les travaux publiés en 2004. L'identification de ces polluants couvrait

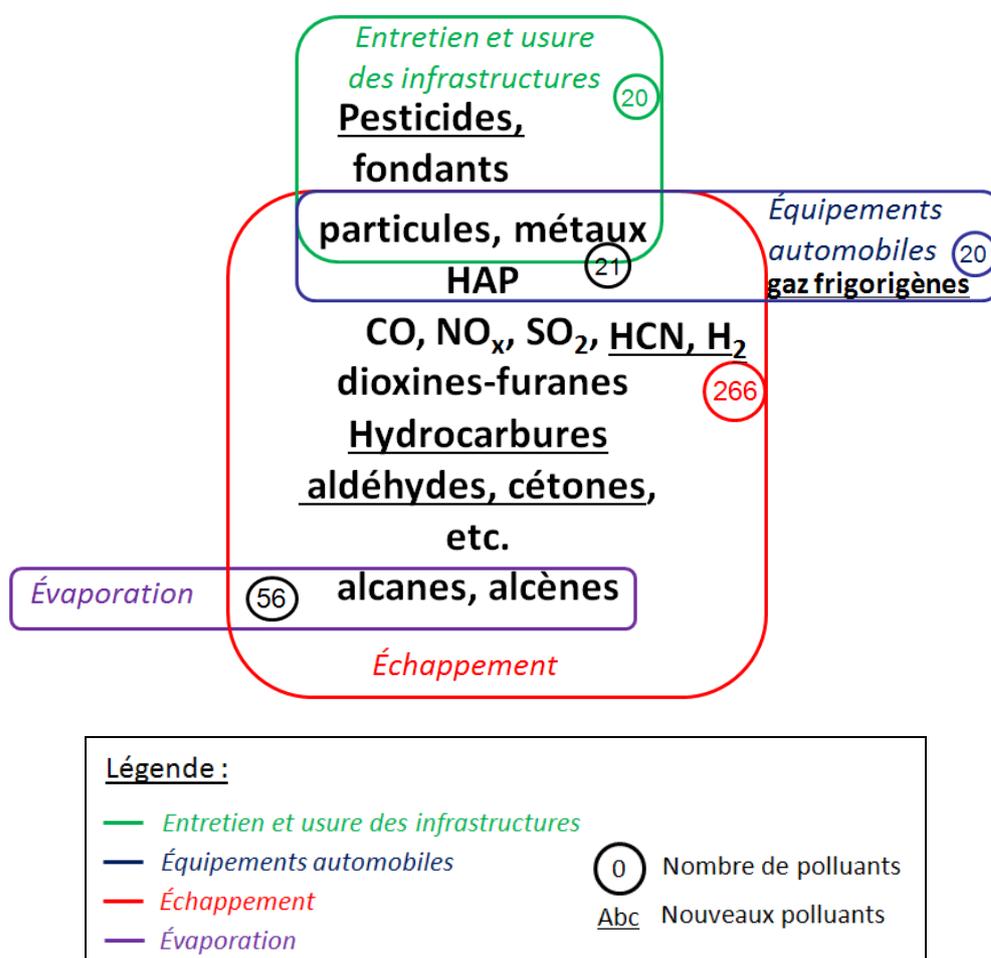
¹ Défini dans la note méthodologique en fonction de la charge prévisionnelle de trafic et du nombre de personnes concernées par le projet

² Cassadou S, Nicoulet I., Noppe J., Chiron M. *et al.* (2004). Sélection des agents dangereux à prendre en compte dans l'évaluation des risques sanitaires liés aux infrastructures routières. Rapport du groupe de travail. 78 pages + 174 pages d'annexe.

différentes origines d'émissions, incluant celles issues des véhicules, celles liées à l'usure, au fonctionnement et à l'entretien des véhicules et de l'infrastructure routière.

La littérature publiée depuis 2004 a permis de recenser soixante sept nouveaux polluants en lien avec de nouvelles technologies ou de nouvelles connaissances concernant les infrastructures routières. Il s'agit plus particulièrement de polluants issus des émissions à l'échappement de véhicules, des technologies de climatisation et de l'usage de produits phytosanitaires pour l'entretien des voiries ou des abords des infrastructures routières. Les substances actives dans les produits phytosanitaires, identifiées dans les travaux publiés en 2004 et qui ne sont plus autorisées par la réglementation européenne au titre des polluants organiques persistants (directive 79/117/CEE) ont été exclues par les experts dans le rapport d'expertise.

La figure ci-dessous représente les polluants et familles de polluants identifiés dans le rapport d'expertise en fonction de l'origine des émissions.



• Le cas particulier des particules et du dioxyde d'azote

Les infrastructures routières constituent une source importante d'émission de particules (PM³) et de dioxyde d'azote (NO₂). La réglementation prévoit une mesure de leurs émissions à l'échappement des véhicules. Pour les particules, les mesures à l'émission sont basées principalement sur des mesures en masse. Dans cette expertise, les

³ PM₁₀ et PM_{2,5} : particules en suspension dans l'air, respectivement d'un diamètre aérodynamique médian inférieur à 10 µm et 2,5 µm (en anglais Particulate Matter)

particules diesel⁴ en tant que telles ne sont pas distinguées dans cette expertise et seront considérées dans les PM.

Pour le NO₂, les mesures à l'émission reposent sur la mesure des oxydes d'azote (NO_x) avec l'application d'un ratio (NO₂/NO_x).

S'il n'existe aucune valeur toxicologique de référence (VTR) pour ces polluants, leur construction est néanmoins possible et souhaitable. En effet, il existe de nombreuses études épidémiologiques concernant la pollution atmosphérique urbaine et l'exposition de la population aux particules PM₁₀ et PM_{2.5} et au NO₂. Par ailleurs, les effets sanitaires mis en évidence sont importants : baisse de la qualité de vie, hausse des hospitalisations (pathologies respiratoires et cardiovasculaires), hausse de la mortalité (toutes causes et spécifique respiratoire et cardiovasculaire), baisse de l'espérance de vie. Néanmoins, il existe peu d'études à proximité des grands axes routiers, et les résultats actuels mettent en évidence une relation possible entre l'exposition à la pollution issue du trafic et différents événements sanitaires : mortalité, développement et exacerbation de pathologies cardiovasculaires et respiratoires etc.

L'Anses a consulté les membres des réseaux « Qualité de l'air » et « Transport » de l'Agence européenne de l'environnement (AEE). Il ressort de cette consultation que ces polluants sont souvent pris en compte dans les études d'impact.

En conséquence, le CES conclut que, compte tenu de l'enjeu de santé publique qu'ils représentent, les PM et le NO₂ sont à prendre en compte dans les études d'impact pour des expositions aiguë et chronique indépendamment de l'exercice de hiérarchisation présenté ci après.

- **Hiérarchisation des autres polluants**

Trois calculs de hiérarchisation ont été réalisés pour les situations d'exposition suivantes :

- **Voie respiratoire** : expositions aiguës et chroniques
- **Voie orale** : exposition chronique.

La méthode de hiérarchisation repose sur le calcul d'un indice de hiérarchisation établi à partir des données d'émission et des valeurs de référence (VTR et valeurs guides) en tenant compte des deux voies d'exposition (respiratoire et orale) et des effets à seuil et sans seuil de dose, selon une même approche.

Concernant la voie orale, la démarche de caractérisation de la contamination des plantes-feuilles a été retenue car celle-ci permet d'intégrer différents mécanismes de transfert des polluants dans l'environnement couvrant à la fois le bio-transfert de l'air vers les feuilles et, après dépôt atmosphérique, le bio-transfert du sol vers les racines.

Les données suivantes ont été recherchées pour réaliser les calculs de hiérarchisation applicable aux deux voies d'exposition :

- les valeurs de référence (VTR et valeurs guides) disponibles, pour tous les polluants identifiés, pour les deux voies et les durées d'exposition considérées, et, pour ce qui concerne la voie orale, les facteurs de bioconcentration.

L'objectif visé étant la hiérarchisation des polluants et non un exercice d'évaluation des risques sanitaires, la sélection des valeurs de référence a été réalisée, pour chaque polluant identifié à l'émission selon la durée et la voie d'exposition, soit en valorisant des travaux d'expertise de l'Anses soit en retenant la valeur la plus

⁴ Le carbone suie représente plus de 50% des émissions particulières en masse par les moteurs diesel (Ban-Weiss et al., 2008). Il n'existe pas encore aujourd'hui de méthode de référence pour la mesure du carbone suie, ni de valeur réglementaire à respecter sur ce polluant. Des protocoles d'analyse sont actuellement évalués au niveau national et européen pour le carbone suie.

protectrice. Cette sélection n'a donc pas reposé sur l'analyse approfondie de la construction de ces valeurs de référence en évaluant la transparence de la démarche, les choix de l'effet critique, de l'étude clé, de la dose critique, des facteurs d'incertitude et les ajustements éventuels, etc.

- les facteurs d'émission documentés pour les polluants ayant des valeurs de référence pour six scénarios combinant des configurations de voiries (autoroute, en milieu urbain et route nationale) et des conditions de circulation différentes (trafics saturé et normal). Deux horizons ont été choisis pour représenter la situation actuelle (2015) et future (2030).

La caractérisation des émissions repose sur l'utilisation d'outils de calcul complétée par des données issues de mesures in situ ou en laboratoire documentées par la littérature. Les polluants émis les mieux documentés sont principalement les polluants réglementés : monoxyde de carbone, particules (concentration massique), oxydes d'azote et composés organiques volatils totaux (COV).

- les niveaux de concentrations documentés (air et dépôt) à proximité d'infrastructures routières, afin de mettre en perspective les résultats de la hiérarchisation avec des données de terrain pour les deux voies et durées d'exposition prises en compte.

Les polluants ont été classés par ordre décroissant des indices de hiérarchisation issus des calculs.

Le choix des polluants a ensuite été réalisé par situation d'exposition. Les niveaux de concentrations recensés à proximité d'infrastructures routières ont été utilisés pour calculer des « ratios de risque », correspondant au :

- rapport entre une concentration dans l'air représentative d'une situation majorante à proximité des axes routiers et la valeur de référence retenue pour la voie respiratoire ;
- rapport entre une dose d'exposition établie pour un scénario majorant « consommation de plantes-feuilles » et la valeur de référence retenue pour la voie orale.

Ces ratios de risque ont été comparés à 1 pour finalement sélectionner les polluants à prendre en compte dans les études d'impact.

• Résultats de la hiérarchisation

Pour l'exposition respiratoire aiguë⁵ : aucun polluant n'a été retenu car tous les ratios de risque calculés pour les polluants en tête du classement sont inférieurs à 1.

Pour l'exposition respiratoire chronique⁶ : les ratios de risque ont permis de retenir vingt polluants: chrome, naphthalène, 1,3-butadiène, dibenzo[a,h]anthracène, benzo[a]pyrène, nickel, acroléine, benzo[a]anthracène, benzène, arsenic, éthylbenzène, benzo[b]fluoranthène, acétaldéhyde, benzo[k]fluoranthène, indéno[1,2,3-cd]pyrène, propionaldéhyde, dibenzo[a,l]pyrène, benzo[j]fluoranthène, formaldéhyde, ammoniac.

Parmi ces vingt polluants, neuf sont des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

Pour l'exposition orale chronique : les résultats de la hiérarchisation ont permis d'écarter les éléments métalliques qui ont des ratios de risque inférieurs à 1.

⁵ exposition aiguë sur une durée inférieure à 14 jours

⁶ exposition chronique sur une durée supérieure à 1 an

L'absence de données de dépôts pour les HAP et les dioxines-furanes n'a pas permis de calculer de ratio de risque. Cependant leurs indices de hiérarchisation élevés (supérieurs à ceux des éléments métalliques) conduisent à les retenir.

Au total, les polluants retenus à l'issue de la hiérarchisation sont douze substances et deux familles de polluants (HAP, dioxines-furanes).

DISCUSSION

La liste de polluants et de familles de polluants proposée a amené des discussions soulignant certaines situations particulières.

- **HAP, dioxines et furanes** : Les émissions de ces polluants sont peu caractérisées et aucun ratio de risque à partir de données de concentration à proximité d'infrastructures routières n'a pu être déterminé pour l'inhalation et l'ingestion à part pour le benzo[a]pyrène. Cependant, plusieurs HAP sont en tête de la hiérarchisation pour les voies respiratoire et orale chroniques ; pour la voie orale : les dioxines et furanes. Compte-tenu des effets sur la santé documentés pour ces deux familles de polluants, les études d'impact doivent les inclure. Par ailleurs, les mesures communément réalisées en milieu ambiant n'incluent pas tous les HAP identifiés dans la hiérarchisation, notamment les isomères du dibenzopyrène.
- **Chrome** : La sélection du chrome repose sur une hypothèse majorante. En effet, les effets sur la santé du chrome sont établis pour le chrome hexavalent (Cr (VI)) pour le développement de cancer du poumon. Toutefois aucune donnée n'a été identifiée pour caractériser le pourcentage de Cr (VI) dans les émissions totales en chrome mesurées pour les véhicules. La mesure du chrome porte sur le suivi du chrome total (Cr(III) et Cr(VI) réduit en Cr(III)). Compte tenu des effets sur la santé documentés, le chrome a été maintenu dans la liste des polluants à recommander.
- **Acroléine** : Des limites sur la mesure de l'acroléine dans l'air selon la méthode classiquement mise en œuvre pour les aldéhydes sont documentées (dégradation du dérivé formé, co-élution notamment avec l'acétone et interférence avec l'ozone), ce qui peut conduire à une sous-estimation de la concentration réelle. Ces limites génèrent des incertitudes sur le ratio de risque calculé pour l'acroléine. L'acroléine est aussi retenue dans la liste de polluants à recommander.
- Enfin, parmi les deux cent soixante dix polluants ne disposant pas de valeur de référence, trente⁷ polluants sont classés cancérigènes par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) et/ou en tant que substance cancérigène, mutagène ou toxique pour la reproduction (CMR) (règlement 1272/2008 appelé CLP) dont vingt-quatre sont des HAP.
Deux polluants disposent de valeurs de référence mais ne sont pas documentés en termes d'émission et classés cancérigènes par le CIRC et/ou en tant que CMR : dibromoéthane (groupe 2A et C1B) et béryllium (groupe 1 et C1B). Ce manque de données constitue également une limite de l'exercice.

⁷ - vingt-trois substances sont classées dans le groupe 3 (inclassable quant à sa cancérigénicité pour l'Homme) par le CIRC dont deux sont classés C1B (Effet cancérigène présumé pour l'homme) et une autre en M2 (effet mutagène suspecté) dans le cadre du règlement CLP,

- trois substances sont classées dans le groupe 2B (peut-être cancérigène pour l'Homme) par le CIRC dont une substance est classé C1B et M2 dans le cadre du règlement CLP,

- une substance est classée dans le groupe 2A (probablement cancérigène pour l'Homme) par le CIRC

- une substance dans le groupe 1 (cancérigène avéré pour l'Homme) par le CIRC

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'EXPERTISE COLLECTIVE

• Liste des polluants retenus

Les polluants recommandés pour les études d'impact des infrastructures routières sont les suivants :

aiguë	Voie respiratoire	particules (PM ₁₀ et PM _{2,5}) dioxyde d'azote
chronique	Voie respiratoire	particules (PM ₁₀ et PM _{2,5}) dioxyde d'azote acétaldéhyde acroléine ammoniac arsenic benzène 1,3-butadiène chrome éthylbenzène formaldéhyde naphtalène nickel propionaldéhyde 16 HAP*
	Voie orale	16 HAP* famille des dioxines et furanes**

*16 HAP recommandés : acénaphthène, acénaphtylène, 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

** Dioxines et furanes : EPA (2010) famille des tétrachlorodibenzodioxines (TCDD ou TeCDD), pentachlorodibenzodioxines (PeCDD), hexachlorodibenzodioxines (HxCDD), heptachlorodibenzodioxines (HpCDD), octachlorodibenzodioxines (OCDD), tétrachlorodibenzofuranes (TCDF ou TeCDF), pentachlorodibenzofuranes (PeCDF), hexachlorodibenzofuranes (HxCDF) et heptachlorodibenzofuranes (HpCDF).

• Recommandations du CES concernant la réalisation des études d'impact pour certains polluants et familles de polluants

Le CES rappelle l'intérêt des études quantitatives des risques sanitaires (EQRS) dans une approche prospective pour estimer les impacts résultant de projets d'infrastructures routières. Ces études permettraient d'informer la population des risques potentiels sur la santé.

Pour réaliser une telle évaluation des risques, il conviendrait de compléter les données disponibles par les actions suivantes :

- construire des valeurs toxicologiques de référence pour des expositions aiguë et chronique aux particules (PM₁₀ et PM_{2,5}) et au dioxyde d'azote (NO₂) pour la réalisation à terme d'évaluation quantitative des risques sanitaires ;
- prendre en compte l'exposition par voie orale en considérant l'exposition aux poussières et au sol par voie orale suite au contact main-bouche pour les enfants ainsi que l'ingestion d'aliments issus de l'autoconsommation ;

- évaluer l'utilisation des produits phytosanitaires pour l'entretien des voiries et l'usage de fondants routiers à partir des informations locales représentant l'usage réel de ces produits.

Le CES formule les propositions suivantes par catégories de polluants pour la réalisation des études d'impact pour les infrastructures routières :

- Dans l'attente de VTR pour les particules (PM₁₀, PM_{2,5}) et le dioxyde d'azote (NO₂) :
 - Comparer les niveaux observés et les niveaux prévus après mise en place du projet d'infrastructure routière aux valeurs guides de l'OMS. Une comparaison avec les valeurs réglementaires pourrait être faite en accompagnement ;
 - Limiter la contribution de l'infrastructure routière en termes de concentrations estimées dans l'air à un pourcentage des valeurs guides ou valeurs réglementaires, à l'instar d'autres pays européens comme l'Autriche qui applique un pourcentage de 1 ou 3% de la valeur limite (Directive 2008/50/CE) selon les situations.
- Pour les HAP et dioxines et furanes :
 - Appliquer l'approche par équivalent toxique pour les évaluations des risques sur la santé :

Pour les HAP, l'approche par équivalence toxique est recommandée par l'INERIS pour les effets sans seuil pour les 2 voies d'exposition. Pour les effets à seuil, il s'agit d'une approche substance par substance.

Les évaluations quantitatives des risques sanitaires (EQRS) réalisées en France, prennent généralement en compte les 16 HAP de l'US EPA avec l'application des facteurs d'équivalence toxique (FET) recommandés par l'INERIS. Dans la pratique, le naphthalène peut être pris à part à cause de ses propriétés chimiques (volatilité élevée) et du fait de VTR étayées disponibles. Dans la directive 2004/107/CE sur la qualité de l'air ambiant, au minimum sept HAP sont à surveiller dont six sont communs à la liste de l'US EPA et le benzo(j)fluoranthène.

Le CES propose donc la réalisation des EQRS selon l'approche par équivalence toxique pour les 16 HAP suivants : acénaphthène, acénaphthylène, 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.

Dans les travaux d'expertise, des HAP hiérarchisés ne sont pas compris dans la liste des 16 HAP recommandés, il s'agit de 4 isomères du dibenzopyrène : dibenzo(a,l)pyrène, dibenzo(a,e)pyrène, dibenzo(a,h)pyrène, dibenzo(a,i)pyrène. Le CES recommande, compte tenu de la toxicité de ces isomères, l'acquisition de données complémentaires à l'émission et dans le milieu ambiant.

Pour les dioxines et furanes, l'approche par équivalence toxique pour la voie orale recommandée par l'US Environmental Protection Agency (US EPA) et l'OMS fait consensus.

- **Recommandations pour la recherche**

Le CES souligne le besoin d'améliorations des connaissances concernant les émissions issues des infrastructures routières. Les besoins les plus importants concernent les familles de HAP, dioxines et furanes dont l'absence ou les incertitudes sur les données d'émission ont amené à faire des choix par défaut.

Le CES recommande :

- de réaliser des campagnes de mesures représentatives de la diversité des infrastructures routières qui justifient d'une étude d'impact pour mieux documenter la contribution du trafic aux concentrations dans l'air et dépôts atmosphériques, notamment pour les HAP, dioxines et furanes ;
- de documenter des émissions pour les polluants non réglementés par la réalisation de mesures sur banc d'essai et *in situ* afin d'améliorer les outils de calculs des facteurs d'émission dans les situations suivantes :
 - à l'échappement ;
 - liées à l'usure, au fonctionnement et à l'entretien des véhicules ;
 - à la remise en suspension des particules déposées sur la route et des fondants routiers.

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.

L'Anses souligne que des travaux d'expertise sont en cours sur l'élaboration de valeurs guides de qualité d'air intérieur pour l'acroléine dont l'échéance est fixée à la fin de l'année 2012. Des valeurs toxicologiques de référence par inhalation pour différentes durées d'exposition seront proposées ainsi que des recommandations sur les méthodes de mesure.

L'Anses indique que la hiérarchisation des dioxines et furanes s'appuie sur des facteurs d'émission associés à de fortes incertitudes et une approche conservatrice en retenant la VTR plus pénalisante. Afin de confirmer l'intérêt de ces polluants, l'Anses encourage en priorité de documenter les émissions pour les dioxines et furanes et d'acquérir des données de concentrations de dépôts atmosphériques.

La construction de valeurs toxicologiques de référence pour des expositions aiguë et chronique aux particules (PM₁₀ et PM_{2,5}) et au dioxyde d'azote (NO₂) a été recommandée pour la réalisation à terme d'évaluation quantitative des risques sanitaires. L'Agence se propose en ce sens d'inscrire cette demande dans son programme de travail.

Le directeur général

Marc Mortureux

MOTS-CLES

Route, Infrastructure routière, Polluants, Pollution atmosphérique, Effets sur la santé, Hiérarchisation, Etude d'impact, Risques sanitaires

Sélection des polluants à prendre en compte dans les évaluations des risques sanitaires réalisées dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières

Saisine n° 2010-SA-0283 « Infrastructures routières »

RAPPORT d'expertise collective

**Comité d'experts spécialisés « Evaluation des risques liés aux milieux aériens »
Groupe de travail « Infrastructures routières »**

Juin 2012

Mots clés

Route, Infrastructure routière, Polluants, Pollution atmosphérique, Effets sur la santé, Hiérarchisation, Etude d'impact, Risques sanitaires

Présentation des intervenants

PREAMBULE : Les experts externes, 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. Christian SEIGNEUR – Directeur du Centre d'enseignement et de recherche en environnement atmosphérique (Ecole nationale des ponts et chaussées) – Spécialités : modélisation environnementale, chimie atmosphérique, évaluation et caractérisation des expositions.

Membres

M. Michel ANDRÉ – Directeur de recherche (Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux) – Spécialités : émissions de polluants issus du trafic et des transports.

Mme Christine BUGAJNY – Responsable du groupe Air et Bruit (Centre d'études techniques de l'équipement de Nord-Picardie) – Spécialités : pollution atmosphérique et transports, métrologie, évaluation des risques sanitaires

Mme Adeline FLOCH-BARNEAUD – Responsable d'affaire et de recherche (Institut national de l'environnement industriel et des risques) – Spécialités : évaluation des risques sanitaires, pollution atmosphérique, toxicologie. (démission en date du 7 décembre 2011)

Mme Mathilde PASCAL – Chargée de projet Air et santé (Institut de veille sanitaire) – Spécialités : épidémiologie, étude d'impact sanitaire, métrologie

M. Gabriel PLASSAT – Ingénieur expert (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) – Spécialités : moteurs et carburants, émissions des véhicules motorisés

M. Emmanuel RIVIERE – Directeur adjoint (Association pour la surveillance et l'étude de la pollution atmosphérique en Alsace) – Spécialités : métrologie des polluants, surveillance et méthodes de mesure.

M. Jean SCIARE – Chargé de recherche (Centre national de la recherche scientifique) – Spécialités : Chimie des particules, chimie atmosphérique

COMITE D'EXPERTS SPECIALISE

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

- Évaluation des risques liés aux milieux aériens – 4 février 2011, 17 octobre 2011, 5 avril 2012, 31 mai 2012 et 26 juin 2012.

Président

M. Christophe PARIS – Professeur des universités, praticien hospitalier (Université de Lorraine – Centre hospitalier universitaire de Nancy – Institut national de la santé et de la recherche médicale). Spécialités : épidémiologie des risques professionnels, pathologies professionnelles.

Vice-présidente

Mme Séverine KIRCHNER – Responsable du pôle Expologie des environnements intérieurs (Centre scientifique et technique du bâtiment), coordinatrice de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur – Spécialités : chimie et pollution de l'atmosphère, air intérieur, expologie.

Membres

Mme Armelle BAEZA – Maître de conférence, Habilitation à diriger des recherches (Université Paris Diderot) – Spécialités : toxicologie.

M. Olivier BLANCHARD – Enseignant chercheur (Ecole des hautes études en santé publique) – Spécialités : évaluation des risques sanitaires, pollution atmosphérique, qualité de l'air intérieur.

Mme Céline BOUDET-DEVIDAL – Docteur en sciences (Institut national de l'environnement industriel et des risques) – Spécialités : évaluation des risques sanitaires, pollution atmosphérique, agents polluants, toxicologie.

M. Patrick BROCHARD – Professeur des universités, praticien hospitalier (Université Bordeaux II – Centre hospitalier universitaire de Bordeaux) – Spécialités : médecine du travail, évaluation des risques sanitaires, agents polluants.

Mme Christine BUGAJNY – Responsable du groupe Air et Bruit (Centre d'études techniques de l'équipement de Nord-Picardie) – Spécialités : pollution atmosphérique et transports, métrologie, évaluation des risques sanitaires.

M. Denis CHARPIN – Professeur des universités, praticien hospitalier (Université de la Méditerranée) – Spécialités : médecine, agents polluants et allergènes, épidémiologie des risques liés à l'environnement.

M. Christophe DECLERCQ – Coordonnateur du Programme de surveillance air et santé (Institut de veille sanitaire) – Spécialités : médecine (santé publique et travail), épidémiologie, statistique, évaluation des risques.

M. Guillaume GARÇON – Maître de conférences, Habilitation à diriger des recherches (Université du Lille 2) – Spécialité : toxicologie.

M. Michel GIROUX – Docteur en pharmacie (Institut national de la santé et de la recherche médicale) – Spécialités : toxicologie, épidémiologie, santé publique, environnement et travail.

M. Philippe GLORENEC – Enseignant chercheur (Ecole des hautes études en santé publique – Institut de recherche sur la santé, l'environnement et le travail – Institut national de la santé et de la recherche médicale) – Spécialités : expologie, évaluation des risques sanitaires.

M. Horacio HERRERA – Chef de département (Institut universitaire romand de santé au travail) – Spécialités : santé travail (hygiéniste), surveillance des ambiances de travail (métrologie, chimie analytique).

M. Eddy LANGLOIS – Ingénieur, responsable de laboratoire (Institut national de recherche et de sécurité) – Spécialités : métrologie des polluants, air des lieux de travail (santé travail), surveillance et méthodes d'analyse.

M. Loïc PAILLAT – Ingénieur, responsable technique (Laboratoire central de la préfecture de police) – Spécialités : pollution de l'air intérieur, de l'air ambiant et de l'air des lieux de travail, métrologie des polluants.

M. Christian SEIGNEUR – Directeur du Centre d'enseignement et de recherche en environnement atmosphérique (Ecole nationale des ponts et chaussées) – Spécialités : modélisation environnementale, chimie atmosphérique, évaluation et caractérisation des expositions.

M. Fabien SQUINAZI – Médecin biologiste, directeur (Laboratoire d'hygiène de la ville de Paris) – Spécialités : air intérieur, microbiologie, pathologies professionnelles induites par la qualité de l'air.

Les travaux d'expertise ont été adoptés par le CES le 26 juin 2012.

PARTICIPATION ANSES

Coordination scientifique

Mme Marion KEIRSBULCK – Chef de projet, unité d'évaluation des risques liés à l'air

Contribution scientifique

M. Guillaume BOULANGER – adjoint au chef d'unité, unité d'évaluation des risques liés à l'air

Mme Sophie GUITTON – Chef d'unité veille et documentation

Mme Christine DRUESNE – documentaliste, unité veille et documentation

Mme Salma ELREEDY – adjointe à la Direction des affaires européennes et internationales

Secrétariat administratif

Mme Sophia SADDOKI

AUDITION DE PERSONNALITES EXTERIEURES

Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU) – le 4 juillet 2011

Mme Fabienne MARSEILLE – Chargée d'étude Air et Santé

Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements (Sétra) – le 4 juillet 2011

Mme Anne-Laure BADIN – Chargée d'études pollution de l'air, des sols et changement climatique

CONTRIBUTIONS EXTERIEURES AU(X) COLLECTIF(S)

Détermination des facteurs d'émissions des polluants issus du transport routier pour des scénarios de circulation représentatifs à l'échelle nationale ; CETE Nord-Picardie – Février 2012

SOMMAIRE

Présentation des intervenants	3
Expertise collective : synthèse et conclusions	10
Sigles et abréviations	20
Liste des tableaux	23
Liste des figures	24
1 Contexte, objet et modalités de traitement de la saisine.....	25
1.1 Contexte	25
1.2 Objet de la saisine	26
1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation	26
1.4 Axes de travail	27
1.5 Problématique de santé publique	28
2 Retour d'expérience à l'étranger et en France	32
2.1 Démarche à l'étranger	32
2.1.1 Objectif et démarche de la consultation.....	32
2.1.2 Description des principales approches	32
2.2 Retour d'expérience en France	33
3 Identification de polluants	35
3.1 Premiers travaux de 2004	35
3.2 Mise à jour de la liste de polluants	36
3.2.1 Revue de la littérature.....	36
3.2.2 Consultation des industriels	36
3.3 Liste de polluants identifiés	37
4 Cas particulier des particules et du dioxyde d'azote.....	39
4.1 Caractérisation physico-chimique des particules	39
4.2 Formation du dioxyde d'azote lié au trafic	40
4.3 Surveillance des particules (PM₁₀ et PM_{2,5}) et du NO₂ dans l'air ambiant et principaux constats	41
4.4 Proposition d'intégration du NO₂, des PM₁₀ et des PM_{2,5} dans les études d'impact	43
5 Hiérarchisation des polluants	45
5.1 Méthode de hiérarchisation	45
5.2 Recherche des données	46
5.2.1 Disponibilité de valeurs de référence.....	47
5.2.2 Documentation des émissions.....	48
5.2.2.1 Scénarios / configurations.....	48
5.2.2.2 Facteurs d'émission issus des outils de calcul européens	49
5.2.2.3 Facteurs d'émission tirés de la littérature	49
5.2.2.3.1 <i>Facteurs d'émission à l'échappement tirés de la littérature</i>	49

5.2.2.3.2	Émissions liées à l'usure d'équipements automobiles ou d'infrastructure routière.....	50
5.2.2.3.3	Émissions par remise en suspension de particules.....	50
5.2.2.3.4	Facteurs d'émission liée à l'utilisation de fondants routiers.....	51
5.2.2.4	Synthèse des données d'émission de polluants.....	52
5.2.3	Niveaux de concentrations à proximité d'infrastructures routières.....	53
5.2.3.1	Une surveillance de la qualité de l'air encadrée par la directive européenne 2008/50/CE.....	53
5.2.3.2	Principaux résultats de la surveillance de la qualité de l'air au regard des valeurs limites et valeurs cibles.....	55
5.2.3.3	Concentrations dans l'air à proximité d'infrastructures routières.....	56
5.2.3.3.1	Exposition aiguë.....	56
5.2.3.3.2	Exposition chronique.....	57
5.2.3.4	Observations de dépôts atmosphériques de métaux en bordure de route et en zone urbaine.....	58
6	Choix des polluants.....	61
6.1	Résultats de la hiérarchisation.....	61
6.1.1	Classement pour l'exposition respiratoire chronique.....	62
6.1.2	Classement pour l'exposition respiratoire aiguë.....	66
6.1.3	Classement pour l'exposition orale chronique.....	67
6.2	Discussion.....	69
6.2.1	Identification des polluants.....	69
6.2.2	Hiérarchisation des polluants.....	70
6.2.3	Choix des polluants.....	71
7	Informations sur les polluants retenus et leurs intégrations dans des EQRS.....	72
7.1	Hydrocarbures.....	72
7.1.1	Alcènes.....	72
7.1.1.1	Informations générales.....	72
7.1.1.2	Analyse qualitative des valeurs de référence.....	72
7.1.1.3	Analyse qualitative des FE.....	73
7.1.1.4	Méthodes de mesure, surveillance et niveaux observés.....	73
7.1.2	Hydrocarbures aromatiques monocycliques.....	73
7.1.2.1	Informations générales.....	73
7.1.2.2	Analyse qualitative des valeurs de référence.....	73
7.1.2.3	Analyse qualitative des FE.....	74
7.1.2.4	Méthodes de mesure, surveillance et niveaux observés.....	74
7.1.3	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).....	75
7.1.3.1	Informations générales.....	75
7.1.3.2	Analyse qualitative des valeurs de référence.....	75
7.1.3.3	Analyse qualitative des FE.....	76
7.1.3.4	Méthodes de mesure, surveillance et niveaux observés.....	77
7.2	Éléments métalliques.....	77
7.2.1	Informations générales.....	77
7.2.2	Analyse qualitative des valeurs de référence.....	77
7.2.3	Analyse qualitative des FE.....	78
7.2.4	Méthodes de mesure, surveillance et niveaux observés.....	78
7.3	Aldéhydes.....	79
7.3.1	Informations générales.....	79
7.3.2	Analyse qualitative des valeurs de référence.....	79
7.3.3	Analyse qualitative des FE.....	79
7.3.4	Méthodes de mesure, surveillance et niveaux observés.....	79
7.4	Dioxines et furanes.....	80

7.4.1 Informations générales	80
7.4.2 Analyse qualitative des VTR	80
7.4.3 Analyse qualitative des FE.....	81
7.4.4 Méthodes de mesure, surveillance et niveaux observés.....	81
7.5 Ammoniac.....	82
7.5.1 Informations générales	82
7.5.2 Analyse qualitative des VTR.....	82
7.5.3 Analyse qualitative des FE.....	82
7.5.4 Méthodes de mesure, surveillance et niveaux observés.....	82
7.6 Modélisation du transfert des polluants dans l'environnement	82
8 Conclusions et recommandations du groupe de travail.....	84
9 Bibliographie.....	87
ANNEXES	94
Annexe 1 : Lettre de saisine.....	95
Annexe 2 : Compte rendu de l'audition du CERTU et du Sétra	97
Annexe 3 : Synthèse des conclusions du rapport du « Health Effects Institute » intitulé « Traffic-related air pollution : a critical review of the literature on emissions, exposure, and health effects » (2010).....	100
Annexe 4 : Liste des pays et organismes ayant répondu à la consultation de l'Anses sur des démarches analogues dans d'autres pays européens pour l'évaluation de l'impact d'un projet routier sur la qualité de l'air et la santé.....	104
Annexe 5 : Description des éléments reçus dans le cadre de la consultation européenne réalisée par l'Anses.....	105
Annexe 6 : Recherche bibliographique dans Scopus pour l'identification de nouvelles polluants	110
Annexe 7 : Courrier de demande d'information à l'attention de fédérations professionnelles du secteur de l'automobile	113
Annexe 8 : Polluants identifiées en 2012	115
Annexe 9 : Synthèse du rapport de l'InVS (2004) relative aux critères de choix retenus pour la sélection des informations clés (FE et VTR) et des polluants pertinentes.....	119
Annexe 10 : Hiérarchisation des polluants pour la voie d'exposition orale	123
Annexe 11 : Disponibilité des valeurs des références (VTR et valeurs guides).....	126
Annexe 12 : Documentation des émissions.....	132
Annexe 13 : Calcul des facteurs d'émission par l'outil CopCETE.....	134
Annexe 14 : Synthèse des données d'émission issues de la littérature.....	144
Annexe 15 : Confrontation des facteurs d'émission calculés et tirés de la littérature	151
Annexe 16 : Synthèse des facteurs d'émission utilisés pour la hiérarchisation des polluants	153
Annexe 17 : Données de concentrations pour l'aide au choix des polluants.....	156
Annexe 18 : Tableaux de classement de hiérarchisation.....	160

Annexe 19 : Résultats du test de Friedman pour les 3 classements issus de la hiérarchisation des substances	163
Annexe 20 : Classement pour l'exposition respiratoire chronique avec les mélanges de HAP selon l'approche par équivalent-toxique.....	169
Annexe 21 : Suivi des actualisations du rapport	170
Annexe 22 : Liens mentionnés dans les déclarations publiques d'intérêts des experts....	171
Notes.....	185

Expertise collective : synthèse et conclusions

Relatives à la sélection des polluants à prendre en compte dans les évaluations des risques sanitaires réalisées dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières

Ce document synthétise les travaux du comité d'experts spécialisé et du groupe de travail.

Présentation de la question posée

L'Anses a été saisie le 26 octobre 2010 par les ministères en charge de l'écologie et de la santé, dans le cadre de la révision de la circulaire du 25 février 2005 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 et de la note méthodologique annexée. Il était demandé de :

- Procéder à une analyse des polluants résultant, directement ou non, des émissions du trafic routier et pouvant présenter un danger pour la santé,
- Sélectionner parmi ces polluants, ceux qui, au regard des émissions, des concentrations atmosphériques et des données toxicologiques, seraient à retenir pour l'analyse des effets sur la santé dus à la pollution atmosphérique générée par les infrastructures routières, en précisant à chaque fois, la(les) voie(s) et durée(s) d'exposition, la(les) population(s) cible(s) à considérer, et fournir la liste des polluants qui pourraient être retenus dans les ERS réalisées dans le cadre des études d'impact.

Contexte

La construction, la réhabilitation ou l'aménagement d'infrastructures routières, qui par leur nature, leurs dimensions ou leur localisation sont susceptibles d'avoir des incidences notables sur l'environnement ou la santé humaine nécessitent au préalable la réalisation d'une étude d'impact.

Cette étude d'impact doit porter notamment sur l'analyse des effets du projet sur différentes problématiques environnementales dont la pollution de l'air, de l'eau et des sols ; le bruit et les vibrations ainsi que les déchets.

Concernant les effets de la pollution de l'air sur la santé, des travaux menés sous l'égide de l'Institut de veille sanitaire (InVS) et publiés en 2004¹ ont permis de dresser une liste de 16 polluants à prendre en compte pour les évaluations de risques sanitaires réalisées dans le cadre de projets d'infrastructures routières. Cette liste était déclinée en fonction de la durée, du type d'effet et de la voie d'exposition.

Des indications méthodologiques sur l'élaboration et le contenu attendu des études d'impact des infrastructures routières ont été fournis dans la circulaire interministérielle Equipement/Santé/Écologie du 25 février 2005 et la note méthodologique qui lui est annexée. Pour les projets d'infrastructures routières de grande ampleur (niveau I²), l'étude détaillée des effets sur

¹ Cassadou S, Nicoulet I., Noppe J., Chiron M. et al. (2004). Sélection des agents dangereux à prendre en compte dans l'évaluation des risques sanitaires liés aux infrastructures routières. Rapport du groupe de travail. 78 pages + 174 pages d'annexe.

² Défini dans la note méthodologique en fonction de la charge prévisionnelle de trafic et du nombre de personnes concernées par le projet

la santé est proposée conformément à la démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires pour les 16 polluants listés en 2004.

Après 3 années de mise en œuvre, la révision de ces documents a été actée en 2009 par les ministères concernés afin de capitaliser les retours d'expérience des parties prenantes. Un groupe plénier, associant les ministères chargés de l'écologie et de la santé, l'InVS, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS), les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) et certains services techniques et déconcentrés des ministères précédemment cités, a été mis en place.

Organisation de l'expertise

L'Anses a confié au comité d'experts spécialisé (CES) « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » le suivi d'instruction de cette saisine. Un groupe de travail dédié a été formé afin de mener les travaux d'expertise pour répondre aux questions posées.

Les travaux 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 éléments complémentaires transmis par les membres du CES.

Ces travaux d'expertise sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires. Ils ont été réalisés dans le respect de la norme NF X 50-110 « qualité en expertise ».

Description de la méthode

Sur la base des travaux de 2004¹ qui ont servi à la proposition de la liste des 16 polluants à mettre à jour, le groupe de travail a plus particulièrement cherché à traiter les questions présentées ci-dessous :

Question	Méthode
Y-a-t-il des démarches analogues dans d'autres pays européens ? →	Consultation des membres des réseaux « Qualité de l'air » et « Transport » de l'Agence européenne de l'environnement (AEE) et sollicitation des membres du réseau APHEKOM (Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe)
Y-a-t-il eu des difficultés rencontrées pour l'application de la circulaire et de la note méthodologique de 2005 ? →	Audition des services techniques du ministère en charge de l'écologie
Quels sont les polluants émis en lien avec une infrastructure routière ? →	Mise à jour de la liste de polluants du rapport de 2004 par l'identification de nouveaux polluants en lien avec : les technologies, les carburants, la conception et l'entretien des voiries, les particules et leur remise en suspension. L'organisation de cette mise à jour se fait à partir : <ul style="list-style-type: none"> - des données de la littérature scientifique - de la consultation des fédérations professionnelles du secteur de l'automobile
Quelle méthode retenir pour la sélection des polluants à prendre en compte dans les évaluations →	Choix d'une méthode de hiérarchisation analogue à celle de 2004 reposant sur le calcul d'un indice de hiérarchisation à partir des données d'émissions et des

Question	Méthode
des risques sanitaires réalisées dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières ?	valeurs de référence (valeurs toxicologique de référence (VTR) et valeurs guides) en tenant compte des deux voies d'exposition considérées (orale et respiratoire). Le calcul de l'indice de hiérarchisation repose sur : <ul style="list-style-type: none"> - Pour la voie respiratoire, le rapport entre le facteur d'émission (FE) et la valeur de référence ; - Pour la voie orale, une équation prenant en compte le facteur d'émission (FE), la valeur de référence et des facteurs de bioconcentration du polluant dans un aliment consommé.
Pour tous les polluants identifiés, quels sont ceux qui disposent de nouvelles données en matière d'effets sur la santé ? →	Recherche des valeurs de référence dans les bases de données et documents de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et des agences américaines, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) et Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA).
Parmi ces polluants, quels sont ceux qui disposent de nouvelles données d'émissions ? →	Documentation des émissions pour toutes les sources prises en compte : échappement et évaporation des véhicules, usure des équipements des véhicules, entretien et conception des voiries à partir : <ul style="list-style-type: none"> - des données de la littérature scientifique - de la méthode d'estimation des émissions COPERT IV³ (COmputer Program to calculate Emission from Road Transport). Différentes configurations de voiries et de conditions de circulation associées ont été prises en compte, ainsi que les évolutions du parc français de véhicules en circulation caractérisées jusqu'en 2030.
Parmi les polluants hiérarchisés, quels sont ceux pour lesquels une évaluation des risques sanitaires est la plus pertinente sur la base des données disponibles ? →	Choix des polluants et discussion de la liste des polluants au regard : <ul style="list-style-type: none"> - des données disponibles concernant les valeurs de référence et le calcul des données d'émissions ; - des données disponibles sur la contribution des émissions du transport routier ; - des méthodes de mesures classiquement mises en œuvre et des modalités de surveillance ; - des niveaux observés (air et dépôts atmosphériques) à proximité d'infrastructures routières.
Quelles sont les limites de la hiérarchisation ? →	Recensement des limites et formulation de recommandations pour améliorer les connaissances.

³ modèle proposé par l'AEE : <http://www.eea.europa.eu/publications/copert-4-2014-estimating-emissions>

Résultat de l'expertise collective

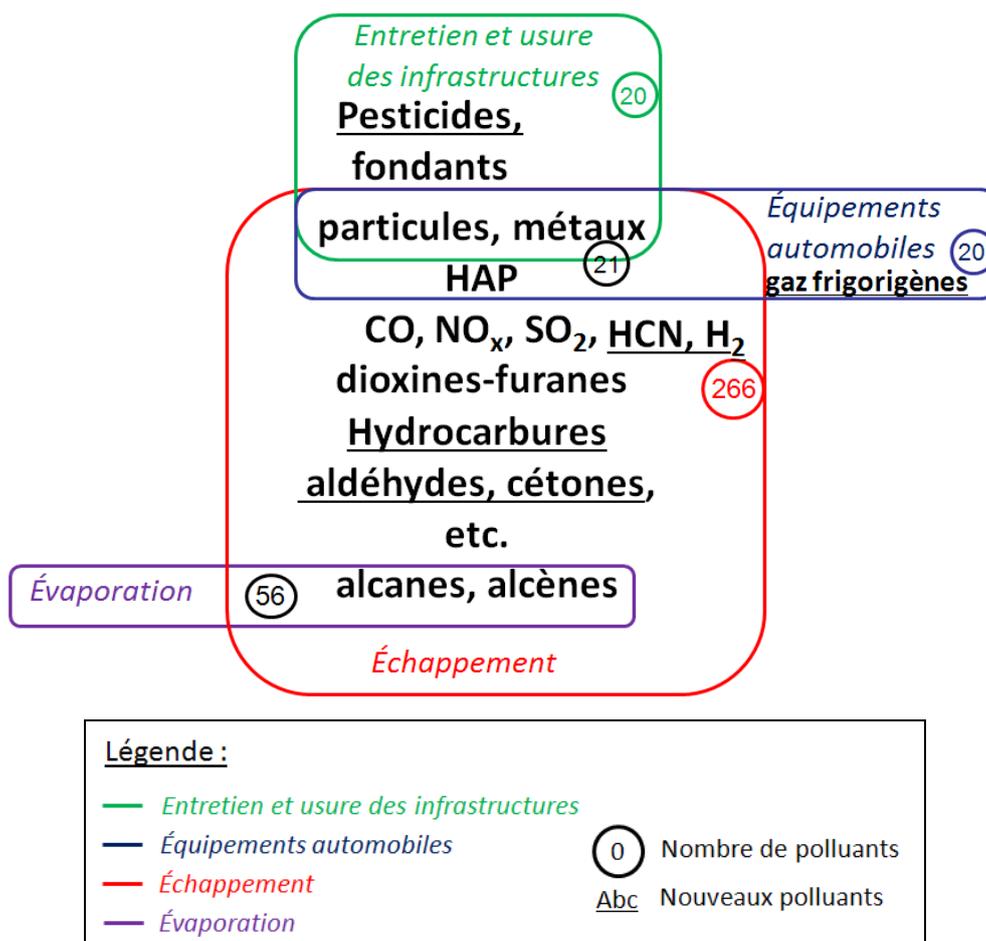
Le comité d'experts spécialisé « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » a adopté les travaux d'expertise collective ainsi que ses conclusions et recommandations, objets du présent rapport lors de sa séance du 26 juin 2012 et a fait part de cette adoption à la direction générale de l'Anses.

• Identification des polluants

Plus de trois cent quatre vingt polluants ont été recensés en lien avec des infrastructures routières dans les travaux publiés en 2004. L'identification de ces polluants couvrait différentes origines d'émissions : émissions issues des véhicules, émissions liées à l'usure, au fonctionnement et à l'entretien des véhicules et de l'infrastructure routière.

La littérature publiée depuis 2004 a permis de recenser soixante sept nouveaux polluants en lien avec de nouvelles technologies ou de nouvelles connaissances concernant les infrastructures routières. Il s'agit plus particulièrement de polluants issus des émissions à l'échappement, des technologies de climatisation et de l'usage de produits phytosanitaires pour l'entretien des voiries ou des abords des infrastructures routières. Les substances actives dans les produits phytosanitaires identifiées dans les travaux publiés en 2004 et qui ne sont plus autorisées dans le cadre de la réglementation européenne au titre des polluants organiques persistants (directive 79/117/CEE) ont été exclues des polluants listés en 2012.

La figure ci-dessous représente les polluants et familles de polluants identifiés en 2012 en fonction de l'origine des émissions.



- **Le cas particulier des particules et du dioxyde d'azote**

Les infrastructures routières sont des émetteurs importants de particules (PM⁴) et de dioxyde d'azote (NO₂). La mesure de leurs émissions à l'échappement des véhicules est réglementée. Pour les particules, les mesures à l'émission sont basées principalement sur des mesures en masse. Dans cette expertise, les particules diesel⁵ en tant que telles ne sont pas distinguées dans cette expertise et seront considérées dans les PM. Pour le NO₂, les mesures à l'émission reposent sur la mesure des oxydes d'azote (NO_x) avec l'application d'un ratio (NO₂/NO_x).

Il n'existe aucune valeur toxicologique de référence (VTR) pour ces polluants, mais leur construction est possible. En effet, il existe de nombreuses études épidémiologiques concernant la pollution atmosphérique urbaine et l'exposition de la population aux particules PM₁₀ et PM_{2,5} et au NO₂. Par ailleurs, les effets sanitaires mis en évidence sont importants : baisse de la qualité de vie, hausse des hospitalisations (pathologies respiratoires et cardiovasculaires), hausse de la mortalité (toutes causes et spécifique respiratoire et cardiovasculaire), baisse de l'espérance de vie. Néanmoins, il existe peu d'études à proximité des grands axes routiers, et les résultats actuels mettent en évidence une relation possible entre l'exposition à la pollution issue du trafic et différents événements sanitaires : mortalité, développement et exacerbation de pathologies cardiovasculaires et respiratoires...

L'Anses a consulté les membres des réseaux « Qualité de l'air » et « Transport » de l'Agence européenne de l'environnement (AEE). Il ressort de cette consultation que ces polluants sont souvent pris en compte dans les études d'impact.

En conséquence, le CES conclut que, compte tenu de l'enjeu de santé publique qu'ils représentent, les PM et le NO₂ sont à prendre en compte dans les études d'impact pour des expositions aiguë et chronique indépendamment de l'exercice de hiérarchisation présenté ci après.

- **Hiérarchisation des autres polluants**

Trois calculs de hiérarchisation ont été réalisés pour les situations d'exposition suivantes :

- **Voie respiratoire** : expositions aiguë et chronique
- **Voie orale** : exposition chronique.

La méthode de hiérarchisation repose sur le calcul d'un indice de hiérarchisation établi à partir des données d'émission et des valeurs de référence (VTR et valeurs guides) en tenant compte des deux voies d'exposition (respiratoire et orale) et des effets à seuil et sans seuil de dose, selon une même approche.

Concernant la voie orale, la démarche de caractérisation de la contamination des plantes-feuilles a été retenue car celle-ci permet d'intégrer différents mécanismes de transfert des polluants dans l'environnement couvrant à la fois le bio-transfert de l'air vers les feuilles et, après dépôt atmosphérique, le bio-transfert du sol vers les racines.

Les données suivantes ont été recherchées pour réaliser les calculs de hiérarchisation applicable aux deux voies d'exposition :

- les valeurs de référence (VTR et valeurs guides) disponibles, pour tous les polluants identifiés, pour les deux voies et les durées d'exposition considérées, et, pour ce qui concerne la voie orale, les facteurs de bioconcentration.

⁴ PM₁₀ et PM_{2,5} : particules en suspension dans l'air, respectivement d'un diamètre aérodynamique médian inférieur à 10 µm et 2,5 µm (en anglais Particulate Matter)

⁵ Le carbone suie représente plus de 50% des émissions particulaires en masse par les moteurs diesel (Ban-Weiss et al., 2008). Il n'existe pas encore aujourd'hui de méthode de référence pour la mesure du carbone suie, ni de valeur réglementaire à respecter sur ce polluant. Des protocoles d'analyse sont actuellement évalués aux niveaux national et européen pour le carbone suie.

L'objectif visé étant la hiérarchisation des polluants et non un exercice d'évaluation des risques sanitaires, la sélection des valeurs de référence a été réalisée, pour chaque polluant identifié à l'émission selon la durée et la voie d'exposition, soit en valorisant des travaux d'expertise de l'Anses soit en retenant la valeur la plus protectrice. Cette sélection n'a donc pas reposé sur l'analyse approfondie de la construction de ces valeurs de référence en évaluant la transparence de la démarche, les choix de l'effet critique, de l'étude clé, de la dose critique, des facteurs d'incertitude et les ajustements éventuels, etc.

- les facteurs d'émission documentés pour les polluants ayant des valeurs de référence pour six scénarios combinant des configurations de voiries (autoroute, en milieu urbain et route nationale) et des conditions de circulation différentes (trafics saturé et normal). Deux horizons ont été choisis pour représenter la situation actuelle (2015) et future (2030).

La caractérisation des émissions repose sur l'utilisation d'outils de calcul complétée par des données issues de mesures *in situ* ou en laboratoire documentées par la littérature. Les polluants émis les mieux documentés sont principalement les polluants réglementés : monoxyde de carbone, particules (concentration massique), oxydes d'azote et composés organiques volatils totaux (COV).

- les niveaux de concentrations documentés (air et dépôt) à proximité d'infrastructures routières, afin de mettre en perspective les résultats de la hiérarchisation avec des données de terrain pour les deux voies et durées d'exposition prises en compte.

Les polluants ont été classés par ordre décroissant des indices de hiérarchisation issus des calculs.

Le choix des polluants a ensuite été réalisé par situation d'exposition. Les niveaux de concentrations recensés à proximité d'infrastructures routières ont été utilisés pour calculer des « ratios de risque », correspondant au :

- rapport entre une concentration dans l'air représentative d'une situation majorante à proximité des axes routiers et la valeur de référence retenue pour la voie respiratoire ;
- rapport entre une dose d'exposition établie pour un scénario majorant « consommation de plantes-feuilles » et la valeur de référence retenue pour la voie orale.

Ces ratios de risque ont été comparés à 1 pour finalement sélectionner les polluants à prendre en compte dans les études d'impact.

• Résultats de la hiérarchisation

Pour l'exposition respiratoire aiguë⁶, aucun polluant n'a été retenu car tous les ratios de risque calculés pour les polluants en tête du classement sont inférieurs à 1.

Pour l'exposition respiratoire chronique⁷, les ratios de risque ont permis de retenir vingt polluants: chrome, naphtalène, 1,3-butadiène, dibenzo[a,h]anthracène, benzo[a]pyrène, nickel, acroléine, benzo[a]anthracène, benzène, arsenic, éthylbenzène, benzo[b]fluoranthène, acétaldéhyde, benzo[k]fluoranthène, indéno[1,2,3-cd]pyrène, propionaldéhyde, dibenzo[a,l]pyrène, benzo[j]fluoranthène, formaldéhyde et ammoniac.

Parmi ces vingt polluants, neuf sont des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

Pour l'exposition orale chronique, les résultats de la hiérarchisation ont permis d'écarter les éléments métalliques qui ont des ratios de risque inférieurs à 1.

⁶ exposition aiguë sur une durée inférieure à 14 jours

⁷ exposition chronique sur une durée supérieure à 1 an

L'absence de données de dépôts pour les HAP et les dioxines-furanes n'a pas permis de calculer de ratio de risque. Cependant leurs indices de hiérarchisation élevés (supérieurs à ceux des éléments métalliques) conduisent à les retenir.

Au total, les polluants retenus à l'issue de la hiérarchisation sont douze substances et deux familles de polluants (HAP, dioxines-furanes).

Discussion

La liste de polluants et de familles de polluants proposée a amené des discussions soulignant certaines situations particulières.

- **HAP, dioxines et furanes** : Les émissions de ces polluants sont peu caractérisées et aucun ratio de risque à partir de données de concentration à proximité d'infrastructures routières n'a pu être déterminé pour l'inhalation et l'ingestion à part pour le benzo[a]pyrène. Cependant, plusieurs HAP sont ressortis en tête de la hiérarchisation pour les voies respiratoire et orale chroniques et uniquement pour la voie orale pour les dioxines et furanes. Compte-tenu des effets sur la santé documentés pour ces deux familles de polluants, les études d'impact doivent les inclure. Il est relevé, par ailleurs, que les mesures communément réalisées en milieu ambiant n'incluent pas tous les HAP identifiés dans la hiérarchisation, notamment les isomères du dibenzopyrène.
- **Chrome** : La sélection du chrome repose sur une hypothèse majorante. En effet, les effets sur la santé du chrome sont établis pour le chrome hexavalent (Cr (VI)) pour le développement de cancer du poumon. Toutefois aucune donnée n'a été identifiée pour caractériser le pourcentage de Cr (VI) dans les émissions totales en chrome mesurées pour les véhicules. La mesure du chrome porte sur le suivi du chrome total (Cr(III) et Cr(VI) réduit en Cr(III)). Compte tenu des effets sur la santé documentés, le chrome a été maintenu dans la liste des polluants à recommander.
- **Acroléine** : Des limites sur la mesure de l'acroléine dans l'air selon la méthode classiquement mise en œuvre pour les aldéhydes sont documentées (dégradation du dérivé formé, co-élution notamment avec l'acétone et interférence avec l'ozone), ce qui peut conduire à une sous-estimation de la concentration réelle. Ces limites génèrent des incertitudes sur le ratio de risque calculé pour l'acroléine. L'acroléine est aussi retenue dans la liste de polluants à recommander.
- Enfin, parmi les deux cent soixante dix polluants ne disposant pas de valeur de référence, trente⁸ polluants sont classés cancérigènes par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) et/ou en tant que substance cancérigène, mutagène ou toxique pour la reproduction (CMR) (règlement 1272/2008 appelé CLP) dont vingt-quatre sont des HAP.

⁸ - vingt-trois substances sont classées dans le groupe 3 (inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'Homme) par le CIRC dont deux sont classées C1B (Effet cancérigène présumé pour l'homme) et une autre en M2 (effet mutagène suspecté) dans le cadre du règlement CLP,

- trois substances sont classées dans le groupe 2B (peut-être cancérigène pour l'Homme) par le CIRC dont une substance est classée C1B et M2 dans le cadre du règlement CLP,

- une substance est classée dans le groupe 2A (probablement cancérigène pour l'Homme) par le CIRC

- une substance dans le groupe 1 (cancérigène avéré pour l'Homme) par le CIRC

Deux polluants disposent de valeurs de référence mais ne sont pas documentés en termes d'émission et classés cancérogènes par le CIRC et/ou en tant que CMR : dibromoéthane (groupe 2A et C1B) et béryllium (groupe 1 et C1B).

Ce manque de données constitue également une limite de l'exercice.

Conclusions et recommandations de l'expertise collective

• Liste des polluants retenus

Les polluants recommandés pour les études d'impact des infrastructures routières sont les suivants :

aigüe	Voie respiratoire	particules (PM ₁₀ et PM _{2,5}) dioxyde d'azote
chronique	Voie respiratoire	particules (PM ₁₀ et PM _{2,5}) dioxyde d'azote acétaldéhyde acroléine ammoniac arsenic benzène 1,3-butadiène chrome éthylbenzène formaldéhyde naphtalène nickel propionaldéhyde 16 HAP*
	Voie orale	16 HAP* famille des dioxines et furanes**

* 16 HAP recommandés : acénaphthène, acénaphthylène, 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

** Dioxines et furanes : EPA (2010) famille des tétrachlorodibenzodioxines (TCDD ou TeCDD), pentachlorodibenzodioxines (PeCDD), hexachlorodibenzodioxines (HxCDD), heptachlorodibenzodioxines (HpCDD), octachlorodibenzodioxines (OCDD), tétrachlorodibenzofuranes (TCDF ou TeCDF), pentachlorodibenzofuranes (PeCDF), hexachlorodibenzofuranes (HxCDF) et heptachlorodibenzofuranes (HpCDF), octachlorodibenzofuranes (OCDF).

• Recommandations du CES concernant la réalisation des études d'impact pour certains polluants et familles de polluants

Le CES rappelle l'intérêt des études quantitatives des risques sanitaires (EQRS) dans une approche prospective pour estimer les impacts résultant de projets d'infrastructures routières. Ces données permettraient d'informer la population des risques potentiels sur la santé.

Pour réaliser une telle évaluation des risques, il conviendrait de compléter les données disponibles par les actions suivantes :

- construire des valeurs toxicologiques de référence pour des expositions aiguë et chronique aux particules (PM₁₀ et PM_{2,5}) et au dioxyde d'azote (NO₂) pour la réalisation à terme d'évaluations quantitatives des risques sanitaires ;
- prendre en compte l'exposition par voie orale en considérant l'exposition aux poussières et au sol par voie orale suite au contact main-bouche pour les enfants ainsi que l'ingestion d'aliments issus de l'autoconsommation ;
- évaluer l'utilisation des produits phytosanitaires pour l'entretien des voiries et l'usage de fondants routiers à partir des informations locales représentant l'usage réel de ces produits.

Le CES formule les propositions suivantes par catégories de polluants pour la réalisation des études d'impact pour les infrastructures routières :

- Dans l'attente de VTR pour les particules (PM₁₀, PM_{2,5}) et le dioxyde d'azote (NO₂) :
 - Comparer les niveaux observés et les niveaux prévus après mise en place du projet d'infrastructure routière aux valeurs guides de l'OMS. Une comparaison avec les valeurs réglementaires pourrait être faite en accompagnement ;
 - Limiter la contribution de l'infrastructure routière en termes de concentrations estimées dans l'air à un pourcentage des valeurs guides ou valeurs réglementaires, à l'instar d'autres pays européens comme l'Autriche qui applique un pourcentage de 1 ou 3% de la valeur limite (Directive 2008/50/CE) selon les situations.
- Pour les HAP et dioxines et furanes :
 - Appliquer l'approche par équivalent toxique pour les évaluations des risques sur la santé :

Pour les HAP, l'approche par équivalence toxique est recommandée par l'INERIS pour les effets sans seuil pour les 2 voies d'exposition. Pour les effets à seuil, il s'agit d'une approche substance par substance.

Dans les évaluations quantitatives des risques sanitaires (EQRS) réalisées en France, il est généralement pris en compte les 16 HAP de l'US EPA avec l'application des facteurs d'équivalence toxique (FET) recommandés par l'INERIS. Dans la pratique, le naphthalène peut être pris à part à cause de ses propriétés chimiques (volatilité élevée) et du fait de VTR étayées disponibles. Dans la directive 2004/107/CE sur la qualité de l'air ambiant, au minimum sept HAP sont à surveiller dont six sont communs à la liste de l'US EPA et le benzo(j)fluoranthène.

Le CES propose donc la réalisation des EQRS selon l'approche par équivalence toxique pour les 16 HAP suivants : acénaphthène, acénaphthylène, 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

Dans les travaux d'expertise, des HAP hiérarchisés ne sont pas compris dans la liste des 16 HAP recommandés, il s'agit de 4 isomères du dibenzopyrène : dibenzo(a,l)pyrène, dibenzo(a,e)pyrène, dibenzo(a,h)pyrène, dibenzo(a,i)pyrène. Le CES recommande, compte tenu de la toxicité de ces isomères, l'acquisition de données complémentaires à l'émission et dans le milieu ambiant.

Pour les dioxines et furanes, l'approche par équivalence toxique pour la voie orale recommandée par l'US Environmental Protection Agency (US EPA) et l'OMS fait consensus.

• **Recommandations pour la recherche**

Le CES souligne le besoin d'améliorations des connaissances concernant les émissions issues des infrastructures routières. Les besoins les plus importants concernent les familles de HAP, dioxines et furanes dont l'absence ou les incertitudes sur les données d'émission ont amené à faire des choix par défaut.

Le CES recommande :

- de réaliser des campagnes de mesures représentatives de la diversité des infrastructures routières qui justifient d'une étude d'impact pour mieux documenter la contribution du trafic aux concentrations dans l'air et dépôts atmosphériques, notamment pour les HAP, dioxines et furanes ;
- de documenter des émissions pour les polluants non réglementés par la réalisation de mesures sur banc d'essai et *in situ* afin d'améliorer les outils de calculs des facteurs d'émission dans les situations suivantes :
 - à l'échappement ;
 - liées à l'usure, au fonctionnement et à l'entretien des véhicules ;
 - à la remise en suspension des particules déposées sur la route et des fondants routiers.

Date de validation de la synthèse par le comité d'experts spécialisé : 26 juin 2012

Sigles et abréviations

2,3,7,8 TCDD : 2,3,7,8-tétrachlorodibenzodioxine

AASQA : Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

AEE : Agence européenne de l'environnement

APHEKOM : Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe

As : Arsenic

ATSDR : Agency for Toxic Substances & Disease Registry

B(a)P : benzo(a)pyrène

Ba : Baryum

BC : black carbon = EC

BPCO : broncho-pneumopathies chroniques obstructives

BTEX : benzène toluène éthylbenzène xylène

CCFA : Comité des constructeurs français d'automobile

Cd : Cadmium

CERTU : Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques

CES : comité d'experts spécialisé

CETE : Centre d'études techniques de l'équipement

CIRC : centre international de recherche sur le cancer

CITEPA : Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique

CMR : cancérogène, mutagène et toxique pour la reproduction

Co : Cobalt

CO : monoxyde de carbone

COPERT : COmputer Program to calculate Emission from Road Transport

COV : composé organique volatil

Cr : Chrome

Cu : Cuivre

DNPH : 2,4-dinitrophénylhydrazine

DROM : département ou région d'Outre-mer

EC : Elemental carbon = BC : black carbon

EIS : estimation de l'impact sanitaire

EQRS : Evaluation quantitative des risques sanitaires

ERU : Excès de risque unitaire

FAP : Filtre à particules

FE : Facteur d'émission

FET : Facteur d'équivalence toxique

FIEV : Fédération des industries des équipements pour véhicules

H₂ : hydrogène

HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques
HCN : acide cyanhydrique
HEI : Health Effects Institute
Hg : Mercure
INERIS : Institut national de l'environnement industriel et des risques
InVS : Institut de veille sanitaire
IPCS : International Program on Chemical Safety
JECFA : Joint Expert Committee on Food Additives
JMPR : Joint Meeting on Pesticides Residues
LAC : light absorbing carbon
LCSQA : Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air
Mn : Manganèse
Mo : Molybdène
NH₃ : Ammoniac
Ni : Nickel
NO₂ : dioxyde d'azote
NO_x : oxydes d'azote
O₃ : Ozone
OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment
OMS : Organisation mondiale de la santé
Pb : Plomb
PFA : Plateforme de la filière automobile
PL : Poids lourd
PM : Particulate matter / PM₁₀ / PM_{2,5}: particules en suspension dans l'air, d'un diamètre aérodynamique médian inférieur à 10 µm / 2,5 µm.
PPA : Plan de protection de l'atmosphère
PTWI : Provisional Tolerable Weekly Intake
R1234yf : 2,3,3,3-tétrafluoroprop-1-ène
R134a : 1,1,1,2-tétrafluoroéthane
RIVM : Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Institut national de la santé publique et de l'Environnement (Pays-bas).
Sb : Antimoine
SEI : Seuil d'évaluation inférieur
SES : Seuil d'évaluation supérieur
Sétra : Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements
Sn : Etain
SO₂ : dioxyde de soufre
TEOM : Tapered element oscillating microbalance
UE : Union européenne
US EPA : U.S. Environment Protection Agency
V : Vanadium
VGAI : Valeur guide de qualité d'air intérieur

VL : valeur limite

VP : Véhicules particuliers

VTR : valeur toxicologique de référence

VUL : Véhicules utilitaires légers

W : Tungstène

ZAPA : Zones d'Actions Prioritaires pour l'Air

Zn : Zinc

ZNA : Zones Non Agricoles

Liste des tableaux

Tableau I : Liste des projets d'infrastructures routières soumis à étude d'impact et ceux soumis à la procédure du cas par cas	25
Tableau II : Valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et valeurs limites de l'Union Européenne (UE)	44
Tableau III : Percentile 98 des concentrations journalières	57
Tableau IV : Percentile 75 des concentrations françaises moyennées des polluants réglementés sur l'année pour la période 2007-2009	57
Tableau V : Concentrations françaises moyennées des polluants de la circulaire de 2005 sur sites trafic et fond urbain de 2002 à 2005	58
Tableau VI : Résumé des mesures de dépôts de métaux en bordure d'autoroute et en zone urbaine ($\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{-jour})$)*	60
Tableau VII : Extrait du tableau de classement issu des calculs de hiérarchisation pour la voie respiratoire chronique (pour les polluants ayant un effet avec seuil (as) et un effet sans seuil (ss), l'effet correspondant au classement est indiqué)	63
Tableau VIII : Liste de polluants pour lesquels un ratio de risque supérieur ou égal à 1 est supposé pour 3 scénarios « Urbain 2015 », « Urbain 2030 » et « Autoroute 2015 ».	64
Tableau IX : Liste de polluants retenus pour l'exposition chronique respiratoire	64
Tableau X : Proportion (%) des HAP ayant des VTR par inhalation dans les émissions totales de HAP	65
Tableau XI : Facteur d'équivalence toxique (FET) proposé par l'OEHHA pour les HAP ayant des VTR sans seuil par inhalation	65
Tableau XII : Tableau de classement issu des calculs de hiérarchisation pour la voie respiratoire aiguë.	66
Tableau XIII : Extrait du tableau de classement issu des calculs de hiérarchisation pour la voie orale chronique (pour les polluants ayant un effet avec seuil (as) et un effet sans seuil (ss), l'effet correspondant au classement est associé au nom de la substance)	67
Tableau XIV : Proportion (%) des HAP et dioxines-furanes dans les émissions totales de leur famille	68
Tableau XV : Facteur d'équivalence toxique (FET) proposé par l'INERIS et l'OEHHA pour les HAP identifiés	76
Tableau XVI : Facteur d'équivalence toxique (FET) proposé par l'OMS en 2005 et repris par l'US EPA dans ses recommandations pour l'évaluation des risques sur la santé pour les dioxines	81
Tableau XVII : Polluants pris en compte dans la version v3.5 de CopCETE	136
Tableau XVIII : Types d'émission intégrés dans l'outil CopCETE pour chaque polluant	136
Tableau XIX : Polluants de la version v3.5 de CopCETE et retenus dans ce cadre	138
Tableau XX : Comparaison des FE des métaux des versions 8.0 et 9.0 de COPERT IV (en ppb, contenu carburant)	138
Tableau XXI : Polluants recensés dans la spéciation Copert et retenus dans ce cadre	139
Tableau XXII : Spéciation COPERT4 des COV pour les alcanes, cycloalcanes, alcènes et alcynes	140
Tableau XXIII : Spéciation COPERT IV des COV pour les aldéhydes, cétones et composés aromatiques monocycliques	141
Tableau XXIV : Facteurs d'émission COPERT IV pour les HAP et POP	142
Tableau XXV : Facteurs d'émission COPERT IV pour les familles de dioxines et furanes	142
Tableau XXVI : FE des métaux de poussières remises en suspension ($\text{mg}/(\text{véhicule-km})$).	149
Tableau XXVII : FE des métaux de fondants routiers en $\text{g}/(\text{véhicule-km})$.	150

Liste des figures

- Figure 1 : Représentation de la répartition des 325 polluants en lien avec les infrastructures routières en fonction de leurs origines, lors des travaux de 2004 _____ 35
- Figure 2 : Représentation de la liste mise à jour en 2012 des 383 polluants identifiés en lien avec les infrastructures routières en fonction de leurs origines _____ 38

1 Contexte, objet et modalités de traitement de la saisine

1.1 Contexte

Les études d'impact préalables à la réalisation d'aménagements ou d'ouvrages ont été introduites en 1976 par la loi n°76-629 relative à la protection de la nature. C'est en 1996 que la loi n°96-1236 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie, appelée LAURE, a complété les études d'impact par l'étude des effets du projet sur la santé des populations résidant à proximité.

Aujourd'hui, la réalisation d'une étude d'impact pour les projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements publics et privés qui, par leur nature, leurs dimensions ou leur localisation sont susceptibles d'avoir des incidences notables sur l'environnement ou la santé humaine est régie par les articles L 122-1 à L 122-3-5 du code de l'environnement. Le contenu *a minima* de l'étude d'impact comprend « *l'étude des effets du projet sur l'environnement ou la santé humaine, y compris les effets cumulés avec d'autres projets connus, les mesures proportionnées envisagées pour éviter, réduire et, lorsque c'est possible, compenser les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine ainsi qu'une présentation des principales modalités de suivi de ces mesures et du suivi de leurs effets sur l'environnement ou la santé humaine.* » (Article L 122-3). L'air est l'un des items pour lesquels une analyse des effets directs et indirects, temporaires et permanents du projet doit être réalisée.

Ces dispositions législatives ont été récemment modifiées dans le cadre de la loi n°2010-788, appelée loi Grenelle 2, du 18 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (article 230). Le décret n°2011-2019⁹ propose, comme principale modification de la réglementation, une liste exhaustive de projets qui sont obligatoirement soumis à étude d'impact et ceux qui peuvent l'être, après une vérification préliminaire dite « examen au cas par cas ». Les projets d'infrastructures routières visés par ces 2 dispositions sont repris dans le Tableau I :

Tableau I : Liste des projets d'infrastructures routières soumis à étude d'impact et ceux soumis à la procédure du cas par cas

Projets soumis à étude d'impact	Projets soumis à la procédure de « cas par cas » en application de l'annexe III de la directive 85/337/CE
a) Travaux de création, de modification, d'élargissement, d'allongement ou d'extension substantielle d'autoroutes, voies rapides, y compris échangeurs	
b) Modification ou extension substantielle d'autoroutes et voies rapides, y compris échangeurs.	b) Modification ou extension non substantielle d'autoroutes et voies rapides, y compris échangeurs.
c) Travaux de création d'une route à 4 voies ou plus, de modification, d'alignement et/ou d'élargissement, d'allongement d'une route existante à 2 voies en une route à 4 voies ou plus	
d) Toutes autres routes d'une longueur égale ou supérieure à 3 km	d) Toutes routes d'une longueur inférieure à 3 km
	e) Tout giratoire dont l'emprise est supérieure ou égale à 0.4 hectares

⁹ Décret portant réforme des études d'impact des projets de travaux, d'ouvrages et d'aménagement

En ce qui concerne les effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact des infrastructures routières, une circulaire interministérielle Equipement/Santé/Écologie du 25 février 2005 et la note méthodologique qui lui est annexée fournissent des indications méthodologiques sur l'élaboration et le contenu attendu des études d'impact.

Pour les grands projets d'infrastructures routières (niveau I¹⁰), l'étude détaillée des effets sur la santé est proposée conformément à la démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS). Une liste de 16 polluants à prendre en compte est issue des travaux réalisés par un groupe d'experts (Cassadou, 2004).

Après 3 années de mise en œuvre, la révision de ces documents a été actée en 2009 par les ministères concernés afin de capitaliser les retours d'expérience des parties prenantes. Un groupe plénier, associant les ministères chargés de l'écologie et de la santé, l'Institut de veille sanitaire (InVS), l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS), les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) et certains services techniques et déconcentrés des ministères précédemment cités, a été mis en place ainsi que des sous-groupes de travail thématiques. Un des sous-groupes thématiques est notamment chargé de réviser la liste actuelle des polluants à retenir dans les évaluations des risques sanitaires réalisées dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières.

1.2 Objet de la saisine

C'est dans le cadre de la révision de la circulaire du 25 février 2005 et de la note méthodologique annexée que l'Anses a été saisie le 26 octobre 2010 (Annexe 1) par les ministères en charge de l'écologie et de la santé afin de :

- Procéder à une analyse des polluants résultant, directement ou non, des émissions du trafic routier et pouvant présenter un danger pour la santé,
- Sélectionner parmi ces polluants, ceux qui, au regard des émissions, des concentrations atmosphériques et des données toxicologiques, seraient à retenir pour l'analyse des effets sur la santé dus à la pollution atmosphérique générée par les infrastructures routières, en précisant à chaque fois, la(les) voie(s) et durée(s) d'exposition, la(les) population(s) cible(s) à considérer, et fournir la liste des polluants qui pourraient être retenus dans les EQRS réalisées dans le cadre des études d'impact.

1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

L'Anses a confié au comité d'experts spécialisé (CES) « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » l'instruction de cette saisine. Ce dernier a mandaté le groupe de travail « Infrastructures routières » pour la réalisation des travaux d'expertise.

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) » avec pour objectif de respecter les points suivants : compétence, indépendance, transparence et traçabilité.

Cette expertise est ainsi issue d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires.

Une partie de la première séance du groupe de travail, qui s'est tenue le 4 juillet 2011, a été consacrée à l'audition de deux services techniques du ministère chargé de l'Écologie, le Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU) et le Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements (Sétra). Cette audition était destinée à définir au mieux le contexte et le retour d'expérience sur les polluants pris en compte

¹⁰ Défini dans la note méthodologique en fonction de la charge prévisionnelle de trafic et du nombre de personnes concernées par le projet

dans l'évaluation des risques sanitaires. Le compte rendu de cette audition est consultable en Annexe 2.

Une partie des données relatives aux émissions liées au trafic routier, à l'échappement et hors échappement est issue d'une étude commanditée par l'agence auprès du Centre d'études techniques de l'équipement (CETE) Nord-Picardie en collaboration avec le CETE Normandie - Centre. Des calculs de facteurs d'émission unitaire ont été réalisés à l'aide de l'outil CopCETE sur la base des conditions définies dans le cadre de ces travaux d'expertise.

Une consultation européenne a été réalisée en coordination avec la Direction des affaires européennes et internationale de l'agence auprès des membres des réseaux « Qualité de l'air » et « Transport » de l'Agence européenne de l'environnement (AEE). L'objectif était de connaître les approches utilisées par d'autres pays européens, principalement dans un contexte réglementaire, pour l'évaluation de l'impact d'un projet routier sur la qualité de l'air et la santé.

1.4 Axes de travail

Sur la base des travaux de 2004 qui ont servi à la proposition de la liste des 16 polluants à mettre à jour, le groupe de travail a plus particulièrement cherché à traiter les questions présentées ci-dessous :

Question	Méthode
Y-a-t-il des démarches analogues dans d'autres pays européens ? →	Consultation des membres des réseaux « Qualité de l'air » et « Transport » de l'Agence européenne de l'environnement (AEE) et sollicitation des membres du réseau APHEKOM (Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe)
Y-a-t-il eu des difficultés rencontrées pour l'application de la circulaire et de la note méthodologique de 2005 ? →	Audition des services techniques du ministère en charge de l'écologie
Quels sont les polluants émis en lien avec une infrastructure routière ? →	Mise à jour de la liste de polluants du rapport de 2004 par l'identification de nouveaux polluants en lien avec : les technologies, les carburants, la conception et l'entretien des voiries, les particules et leur remise en suspension. L'organisation de cette mise à jour se fait à partir : <ul style="list-style-type: none"> - des données de la littérature scientifique - de la consultation des fédérations professionnelles du secteur de l'automobile
Quelle méthode retenir pour la sélection des polluants à prendre en compte dans les évaluations des risques sanitaires réalisées dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières ? →	Choix d'une méthode de hiérarchisation analogue à celle de 2004 reposant sur le calcul d'un ratio entre les données d'émissions et les valeurs de référence (valeurs toxicologique de référence (VTR) et valeurs guides) en tenant compte des deux voies d'exposition considérées (orale et respiratoire). Le calcul de hiérarchisation repose sur : <ul style="list-style-type: none"> - Pour la voie respiratoire, le rapport entre le facteur d'émission (FE) et la valeur de référence ; - Pour la voie orale, une équation prenant en compte le facteur d'émission (FE), la valeur de référence et des facteurs de bioconcentration du polluant dans un aliment consommé.
Pour tous les polluants identifiés, quels sont ceux qui disposent de nouvelles données en matière d'effets sur la →	Recherche des valeurs de référence dans les bases de données et documents de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et des agences américaines, Agency for Toxic Polluants and Disease Registry (ATSDR) et Agency for

Question	Méthode
santé ?	Toxic Polluants and Disease Registry (OEHHA).
Parmi ces polluants, quels sont ceux qui disposent de nouvelles données d'émissions ? →	<p>Documentation des émissions pour toutes les sources prises en compte : échappement et évaporation des véhicules, usure des équipements des véhicules, entretien et conception des voiries à partir :</p> <ul style="list-style-type: none"> - des données de la littérature scientifique - de la méthode d'estimation des émissions COPERT IV¹¹ (COmputer Program to calculate Emission from Road Transport). <p>Différentes configurations de voiries et de conditions de circulation associées ont été prises en compte, ainsi que les évolutions du parc français de véhicules en circulation caractérisées jusqu'en 2030.</p>
Parmi les polluants hiérarchisés, quels sont ceux pour lesquels une évaluation des risques sanitaires est la plus pertinente sur la base des données disponibles ? →	<p>Choix des polluants et discussion de la liste des polluants au regard :</p> <ul style="list-style-type: none"> - des données disponibles concernant les valeurs de référence et le calcul des données d'émissions ; - des données disponibles sur la contribution des émissions du transport routier ; - des méthodes de mesures classiquement mises en œuvre et des modalités de surveillance ; - des niveaux observés (air et dépôts atmosphériques) à proximité d'infrastructures routières.
Quelles sont les limites de la hiérarchisation ? →	Recensement des limites et formulation de recommandations pour améliorer les connaissances.

1.5 Problématique de santé publique

Depuis les années 1990 plusieurs études épidémiologiques ont permis de mettre en évidence un lien entre la pollution atmosphérique urbaine et des impacts à court et long terme sur la santé. On dispose à l'inverse de peu d'études en lien spécifiquement avec la proximité des grands axes routiers. Cependant, le trafic constituant une source majeure de pollution atmosphérique urbaine, on peut supposer que les risques observés à proximité des grands axes routiers seraient au moins similaires à ceux retrouvés pour la population urbaine, et probablement supérieurs du fait d'une exposition *a priori* plus élevée pour certains polluants.

Contrairement à l'évaluation des risques qui s'attache à lister l'ensemble des polluants émis par une infrastructure routière, comme détaillé dans ce rapport, les études épidémiologiques s'appuient sur des indicateurs de proximité à la source d'exposition (proxy) pour comprendre l'impact du trafic. Ces proxys utilisés soit individuellement soit en combinaison sont le plus souvent les particules fines (PM_{2,5}³), le dioxyde d'azote (NO₂), le carbone élémentaire (EC)..., ou plus simplement la distance à la route.

Les études épidémiologiques montrent que les particules PM₁₀¹² mais également les particules fines (PM_{2,5}) sont associées à des impacts sur la mortalité et la morbidité. Les particules fines (PM_{2,5}) sont celles qui entrent le plus profondément dans les poumons car les processus de dépôts

¹¹ modèle proposé par l'AEE : <http://www.eea.europa.eu/publications/copert-4-2014-estimating-emissions>

¹² PM₁₀ et PM_{2,5} : particule en suspension dans l'air, respectivement d'un diamètre aérodynamique médian inférieur à 10 µm et 2,5 µm (en anglais Particulate Matter)

par interception, inertie et mouvement brownien sont les moins efficaces pour les particules avec des diamètres entre environ 0,1 et 2,5 μm (c'est-à-dire la fourchette de taille correspondant à la majeure partie de la masse de $\text{PM}_{2.5}$). Les particules ultrafines (de diamètre inférieur à 100 nm) se déposent en partie dans l'arbre bronchique par mouvement brownien, mais une fraction significative peut pénétrer profondément dans les poumons et franchir la barrière physiologique pour entrer dans le système sanguin et s'accumuler dans certains organes (cerveau, cœur et foie). La masse de ces particules ultrafines est faible par rapport à celle des particules fines ou grossières ; en revanche, leur nombre domine le nombre de particules de toutes tailles.

Les impacts à court terme des particules (PM_{10} et $\text{PM}_{2.5}$) correspondent à des exacerbations de pathologies cardiaques ou respiratoires, des visites aux urgences, des hospitalisations et des décès prématurés (Anderson, 2004 ; OMS, 2005a ; Katsouyanni, 2009 ; Samoli, 2008 ; Larrieu, 2007 ; Ballester, 2006 ; Stafoggia, 2009). Les impacts à long terme se traduisent par une réduction de l'espérance de vie et une augmentation du risque de développer des maladies cardiovasculaires et respiratoires (Pope, 2004 ; Tobias, 2011). L'existence d'un seuil de concentration en PM_{10} ou $\text{PM}_{2.5}$ au-dessous duquel aucun impact ne serait observé n'a pas été démontré (OMS, 2005a). Il y a moins d'études épidémiologiques sur les particules grossières ($\text{PM}_{10-2.5}$). Mais des études récentes montrent également des impacts sanitaires, parfois liés à des sources particulières (ex. vents de sable du Sahara (Tobias, 2011), remises en suspension sur les routes en Suède associées à l'utilisation de pneus cloutés en hiver, et se traduisant par une augmentation de la mortalité (Meister, 2011)).

Compte tenu des résultats épidémiologiques disponibles, confortés par les résultats toxicologiques, l'existence d'une relation causale entre particules, mortalité et morbidité est désormais acceptée (Pope, 2006).

Par ailleurs, des interrogations demeurent sur l'influence de la taille et de la composition chimique des particules. A l'heure actuelle, il est difficile de distinguer les effets liés à la taille, au nombre, et à la composition chimique des particules, ces trois paramètres étant intimement liés (Kennedy, 2007). Les travaux récents de Bell (2012) suggèrent toutefois que le carbone suie et, à un degré moindre, le nickel et le vanadium, contribuent fortement aux associations significatives qui apparaissent entre les niveaux ambiants de $\text{PM}_{2.5}$ et des effets sanitaires néfastes (hospitalisations dues à des problèmes respiratoires ou cardio-vasculaires).

Enfin, les particules diesel constituent un cas particulier bien qu'une VTR a été développée par l'US EPA (2002). Une exposition aiguë et chronique aux gaz d'échappement diesel est susceptible d'entraîner des effets néfastes sur la santé. Différents symptômes liés à une exposition court terme ont été rapportés par des études menées chez l'Homme et chez l'animal : irritation (yeux, gorge, bronches etc.), et symptômes neurophysiologiques (vertiges et nausées) et respiratoires (toux, expectoration). En juin 2012, le centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a révisé la classification des gaz d'échappement diesel et classé comme « cancérigènes pour l'homme » (groupe 1) les gaz d'échappement des moteurs diesel. Ce classement correspond au niveau 1 dans une classification qui va de 1 (cancérogène pour l'homme) à 4 (probablement pas cancérogène pour l'homme). Cette décision s'appuie sur un niveau de preuve « suffisant » quant à l'existence d'une association entre exposition et excès de risque de cancer pulmonaire, considérant entre autres les données épidémiologiques obtenues chez des travailleurs exposés, confortées par les études expérimentales *in vitro* et *in vivo*. L'effet cancérigène s'appuierait sur un mécanisme génotoxique. Depuis 1988, le gaz d'échappement diesel était classé dans le groupe 2A (cancérogène probable). Pour les effets chroniques non cancérogènes, les études chez l'animal montrent une inflammation pulmonaire et des modifications histopathologiques. Ces effets ont été retenus pour l'élaboration d'une VTR pour les particules diesel, classiquement mesurées pour représenter l'exposition aux gaz d'échappement, à $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ par l'US EPA.

Le NO_2 est également utilisé par plusieurs études épidémiologiques comme un marqueur des polluants issus de la combustion et du trafic, avec un impact sur la mortalité et la morbidité à court-terme. Des études toxicologiques ont montré que des valeurs de NO_2 supérieures à $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ sur une heure conduisaient à une dégradation de la fonction pulmonaire chez les asthmatiques. Les effets à long-terme sont plus discutés, mais des études ont mis en évidence un impact sur la

fonction pulmonaire et sur le risque de développer des bronchites, en particulier chez les enfants asthmatiques (OMS, 2005a).

Les impacts associés à la pollution particulaire en zone urbaine sont considérables. En 2006, il a été estimé via une évaluation de l'impact sanitaire (EIS) que si les niveaux de $PM_{2,5}$ respectaient une valeur de $15 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne annuelle (c'est-à-dire la réglementation existante aux Etats-Unis), près de 16 000 décès anticipés pourraient être évités chaque année dans 26 villes européennes (projet européen APHEIS) (Boldo, 2006). Plus récemment, le projet européen Aphekom (Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe) a montré dans 25 villes européennes que, selon la ville et son niveau moyen de pollution, si les niveaux moyens annuels de particules fines ($PM_{2,5}$) étaient ramenés au seuil de $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ (valeur guide préconisée par l'OMS), le gain d'espérance de vie à l'âge de 30 ans pourrait atteindre 22 mois. En conséquence, le dépassement de la valeur guide préconisée par l'OMS pour les $PM_{2,5}$ se traduit par près de 19 000 décès prématurés chaque année, dont 15 000 causés par des maladies cardiovasculaires (Aphekom, 2012).

La plupart des études sur la pollution atmosphérique urbaine utilise un indicateur moyen de pollution à l'échelle de l'agglomération. Les populations *a priori* les plus exposées aux émissions du trafic sont celles résidants jusqu'à 300 à 500 m des grands axes routiers. Les études ciblant ces populations sur-exposées à la pollution émise par les grands axes routiers sont moins nombreuses.

L'Annexe 3 présente le résumé des principaux résultats toxicologiques et épidémiologiques sur la proximité au trafic, revu par le Health Effects Institute (HEI) pour évaluer la causalité entre exposition à la pollution du trafic et effets sanitaires. Les résultats actuels mettent en évidence une relation possible entre l'exposition à la pollution issue du trafic et différents événements sanitaires (mortalité, développement et exacerbation de pathologies cardiovasculaires et respiratoires...) (Samet, 2007; Brugge, 2007; HEI, 2010; OMS, 2005b). Quelques études montrent également qu'une réduction effective de la pollution liée au trafic (allègement de la circulation à Atlanta pendant les jeux Olympiques de 1996 (Friedman, 2001), construction de tunnels en Norvège (Bartonova, 1999), changement de carburant à Hong-Kong (Hedley, 2002)) se traduit par une réduction de certains symptômes, en particulier du nombre de crises d'asthme chez l'enfant (OMS, 2005b).

Les connaissances actuelles ne permettent pas d'établir une relation causale entre exposition à la pollution générée par les grands axes routiers et survenue de pathologies chez l'Homme, à l'exception de l'exacerbation de l'asthme (HEI, 2010). Des preuves fortes d'une relation causale existent également pour le développement de l'asthme chez l'enfant, des symptômes respiratoires et une baisse de la fonction pulmonaire, ainsi qu'une augmentation de la mortalité totale et cardiovasculaire (HEI, 2010).

Pour les pathologies respiratoires et cardiovasculaires, des résultats faisant le lien entre résider à une certaine distance d'un grand axe et événements sanitaires sont jugés assez fiables pour réaliser une EIS. Le projet Aphekom a ainsi montré qu'en moyenne, plus de 50 % de la population de 10 villes européennes résidaient à moins de 150 mètres de rues ou de routes empruntées par plus de 10 000 véhicules par jour, et étaient donc exposées à des niveaux importants de pollution. Dans ces villes, il a été estimé que le fait d'habiter à proximité de grands axes de circulation pourrait être responsable d'environ 15 à 30% des nouveaux cas d'asthme de l'enfant, et de proportions similaires ou plus élevées de broncho-pneumopathies chroniques obstructives (BPCO) et de maladies coronariennes chez les adultes âgés de 65 ans et plus. De plus, Aphekom a estimé que 15 à 30% des crises d'asthme chez l'enfant, et de l'aggravation des BPCO et des maladies coronariennes chez les adultes de plus de 65 ans peuvent également être causés par la pollution liée au trafic (Aphekom, 2012).

L'impact de santé publique estimé par ces EIS est donc très important, d'autant qu'elles n'étudient que quelques impacts de l'exposition au trafic. Il faut de plus souligner que les grands axes routiers génèrent d'autres nuisances, notamment le bruit dont les impacts sanitaires sont également considérables (OMS, 2011). Ces effets additionnels ne sont pas directement caractérisés par les études épidémiologiques portant sur la pollution atmosphérique. Enfin, les

études épidémiologiques portent sur les impacts des émissions des véhicules actuellement ou antérieurement utilisés. L'évolution des technologies et des usages pourrait conduire à des impacts futurs différents.

2 Retour d'expérience à l'étranger et en France

2.1 Démarche à l'étranger

2.1.1 Objectif et démarche de la consultation

L'Anses a souhaité faire une consultation européenne pour connaître les approches utilisées par d'autres pays européens, principalement dans un contexte réglementaire, pour l'évaluation de l'impact d'un projet routier sur la qualité de l'air et la santé.

L'agence a contacté les membres des réseaux « Qualité de l'air » et « Transport » du réseau EIONET (European Environment Information and Observation Network) de l'Agence européenne de l'environnement (AEE) afin de :

- préciser les réglementations nationales portant sur la réalisation d'études d'impact pour les infrastructures routières et une prise en compte ou non des risques pour la santé liés à la pollution de l'air.
- recueillir des informations d'intérêt pour les travaux de l'agence sur le choix des polluants.

Les membres du projet Aphekom, coordonné par l'InVS ont aussi été sollicités pour élargir la consultation à d'autres acteurs du domaine de la santé publique au niveau européen.

Au total, 29 réponses ont été reçues, correspondant à 17 pays européens : Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Danemark, Espagne, Finlande, Grèce, Irlande, Italie, Lituanie, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Royaume-Uni, Suisse et Slovénie. L'Annexe 4 liste les pays et le nom des organismes ayant répondu à cette consultation.

Cette consultation a permis de préciser le cadre législatif communautaire qui s'applique à tous les pays membres de l'Union européenne, et de donner des premiers éléments sur les démarches d'autres pays européens sur l'évaluation de l'impact d'un projet routier. Les principales approches sont décrites dans le chapitre suivant. Il est important de noter que les informations recueillies ne sont pas exhaustives et reposent sur les éléments communiqués par les personnes consultées par voie électronique et sur des compléments d'informations obtenus sur certains sites internet des organismes ou ministères concernés.

2.1.2 Description des principales approches

La réalisation d'une étude d'impact environnemental est encadrée par la directive européenne 85/337/CEE¹³, appelée Directive EIE pour « évaluation des incidences sur l'environnement ». Cette directive conditionne l'autorisation de certains projets ayant une influence physique sur l'environnement à une évaluation par l'autorité nationale compétente. Cette évaluation doit déterminer les effets directs et indirects de ces projets sur les éléments suivants: l'Homme, la faune, la flore, le sol, l'eau, l'air, le climat, le paysage, les biens matériels et le patrimoine culturel, ainsi que l'interaction entre ces différents éléments. Les « grands » projets d'infrastructures routières énumérés à l'Annexe I de la directive sont obligatoirement soumis à cette évaluation, il s'agit notamment de construction d'autoroutes, de voies rapides, de routes à 4 voies ou plus, etc. Pour les projets relevant de l'Annexe II, c'est-à-dire les projets de route non visés par l'Annexe I, l'évaluation n'est pas automatique. Ils sont soumis à une vérification préliminaire qui permet aux États membres de décider de les soumettre à évaluation au cas par cas ou en fonction de seuils,

¹³ La directive 85/337/CEE a été modifiée par la directive 97/11/CE, la directive 2003/35/CE et la directive 2009/31/CE.

lorsqu'ils remplissent certains critères concernant leurs caractéristiques (par exemple leur taille), leur localisation (notamment, dans des zones écologiques sensibles) et leur impact potentiel (surface touchée, durée).

Les textes nationaux transposant cette directive ont été communiqués dans la plupart des cas et sont présentés dans l'Annexe 5. Pour la France, ces dispositions ont été transposées dans le code de l'environnement dans les articles R 122-1 à R122-16 (modifié récemment par le décret 2011-2019). Pour 5 pays, Belgique, Finlande, Grèce, Italie, et Slovénie, aucun élément n'a été communiqué permettant de décrire la situation au niveau national.

Il ressort de cette consultation que pour la prise en compte de la qualité de l'air dans les études d'impact environnemental, des modèles spécifiques ont été développés dans certains pays pour évaluer les concentrations en lien avec les projets d'infrastructures routières. Des exemples de modèles communiqués par le biais des réponses sont listés à titre indicatif : modèle MIMOSA basé sur la méthode COPERT IV pour la Belgique, le modèle OML Highway pour le Danemark, le modèle Clean Air Policy Tool (CAPT-NL) (en néerlandais "Saneringstool") pour les Pays-Bas.

Les polluants majoritairement ciblés sont les particules (PM) et le dioxyde d'azote (NO₂). Dans des cas particuliers, le monoxyde de carbone (CO) et les oxydes d'azote (NO_x) ont été cités.

Concernant l'impact sur la santé, aucune démarche analogue à celle adoptée par la France n'est ressortie par le biais de cette consultation. L'Autriche, le Danemark et l'Espagne ont répondu que l'évaluation de l'impact de la pollution de l'air était réalisée via une comparaison des niveaux de concentrations estimés avec les valeurs limites fixées par la directive européenne 2008/50/CE concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe.

Deux démarches intéressantes sont présentées ci-dessous pour illustrer les interactions entre les politiques des transports et celles sur la qualité de l'air :

- En Autriche, dans certaines situations, un projet est accepté si les niveaux de pollution « additionnels » sont inférieurs à 3% des valeurs limites annuelles. Dans certains cas, les exigences sont plus importantes (1% des valeurs limites), notamment lorsque la pollution de fond dépasse les valeurs limites d'après le guide de recommandation (en allemand) sur la conduite d'études d'impact environnemental (Umweltbundesamt, 2005)
- Aux Pays-Bas, ce fut un sujet politique important suite à plusieurs décisions de la cour de justice néerlandaise qui ont rejeté des projets d'aménagement ou d'infrastructures routières, en raison du possible non-respect des valeurs limites de qualité de l'air. L'article de Fleurke et Koeman (2005) explique que la transposition en 2001 dans le droit national de la directive européenne sur la qualité de l'air 99/30/CEE a été particulière par rapport à d'autres Etats membres. La prise en compte des valeurs limites à atteindre était demandée dans toutes les politiques publiques dont celles sur les projets d'aménagements ou d'ouvrage ce qui a appuyé les décisions de la cour de justice. La réglementation néerlandaise a été modifiée en 2005 (notamment l'article 7.3 introduisant un « système d'équilibre » (« on balance system ») pour lever ces difficultés). Un programme national de qualité de l'air (NSL) a été mis en place dans le but d'identifier les mesures qui permettraient d'améliorer la qualité de l'air à proximité des routes et d'atteindre les valeurs limites européennes. Un rapport d'analyse de ce programme indique que les projets peuvent être mis en œuvre s'ils ne contribuent pas à une augmentation de concentration moyenne annuelle de plus de 1,2 µg.m⁻³ pour les PM₁₀ ou le NO₂ (IPL-8, 2009), c'est-à-dire 3% des valeurs limites réglementaires. Un outil de surveillance a été développé pour les axes routiers prenant en compte l'intensité du trafic et les caractéristiques de la route pour modéliser la qualité de l'air.

2.2 Retour d'expérience en France

Deux services techniques du ministère chargé de l'écologie et des transports ont été auditionnés dans le cadre de ces travaux d'expertise afin de définir au mieux le contexte et le retour d'expérience sur les polluants pris en compte dans l'évaluation des risques sanitaires lors de la mise en œuvre de la circulaire du 25 février 2005 et de la note méthodologique annexée.

Des difficultés sur la réalisation d'études d'évaluation des risques sur la santé pour certaines des 16 substances recommandées ont été remontées :

- Problème métrologique pour l'acroléine : des problèmes concernant la mesure de cette substance sont documentés dans la littérature, notamment des problèmes de stabilité chimique (dégradation du composé sur le support de prélèvement). L'interprétation des niveaux de concentration mesurés n'est pas satisfaisante.
- Inadéquation des valeurs toxicologiques de référence prises en compte dans les évaluations des risques sur la santé :
 - Particules diesel : La VTR des particules diesel est utilisée au regard de données de concentrations de PM_{10} qui sont fournis par les outils de modélisation. Par ailleurs, les concentrations de fond mesurées pour les PM_{10} peuvent être supérieures à la VTR
 - Chrome : La VTR est établie pour le chrome (VI) alors que la mesure du chrome porte sur le chrome total
- Inadéquation de la voie d'exposition recommandée :
 - Plomb : L'exposition par inhalation est recommandée et non celle par ingestion alors que la problématique des émissions d'éléments métalliques repose plutôt sur les dépôts atmosphériques et ainsi la contamination des sols et denrées alimentaires
 - Mercure : l'origine du mercure est l'usage des fondants routiers qui relève plus d'une problématique de contamination des eaux de ruissellement.

3 Identification de polluants

Le groupe de travail a souhaité mettre à jour la liste de polluants émis par une infrastructure routière établie en 2004, par l'identification éventuelle de nouveaux polluants en lien avec de nouvelles technologies ou de nouvelles connaissances concernant les infrastructures routières. Pour ce faire, une revue de la littérature et une consultation des fédérations professionnelles du secteur de l'automobile ont été réalisées suivant les thèmes suivants : technologies, carburants, conception et entretien des voiries, et remise en suspension de particules (aérosols).

3.1 Premiers travaux de 2004

Afin de proposer une sélection de polluants à prendre en compte dans les évaluations des risques sanitaires liés aux infrastructures routières, un des objectifs spécifiques du groupe de travail présenté dans le rapport de 2004 était d'identifier les polluants émis. Cet inventaire a été décomposé par source ou cause d'émission en précisant l'origine des informations. Le champ de cette recherche n'a pas été limité aux émissions issues des véhicules et a concerné plus largement les émissions liées à l'usure, au fonctionnement et à l'entretien des véhicules et de l'infrastructure routière.

325 polluants ont été identifiés dans le cadre de ces travaux, principalement issues des émissions à l'échappement et par évaporation des véhicules (Figure 1).

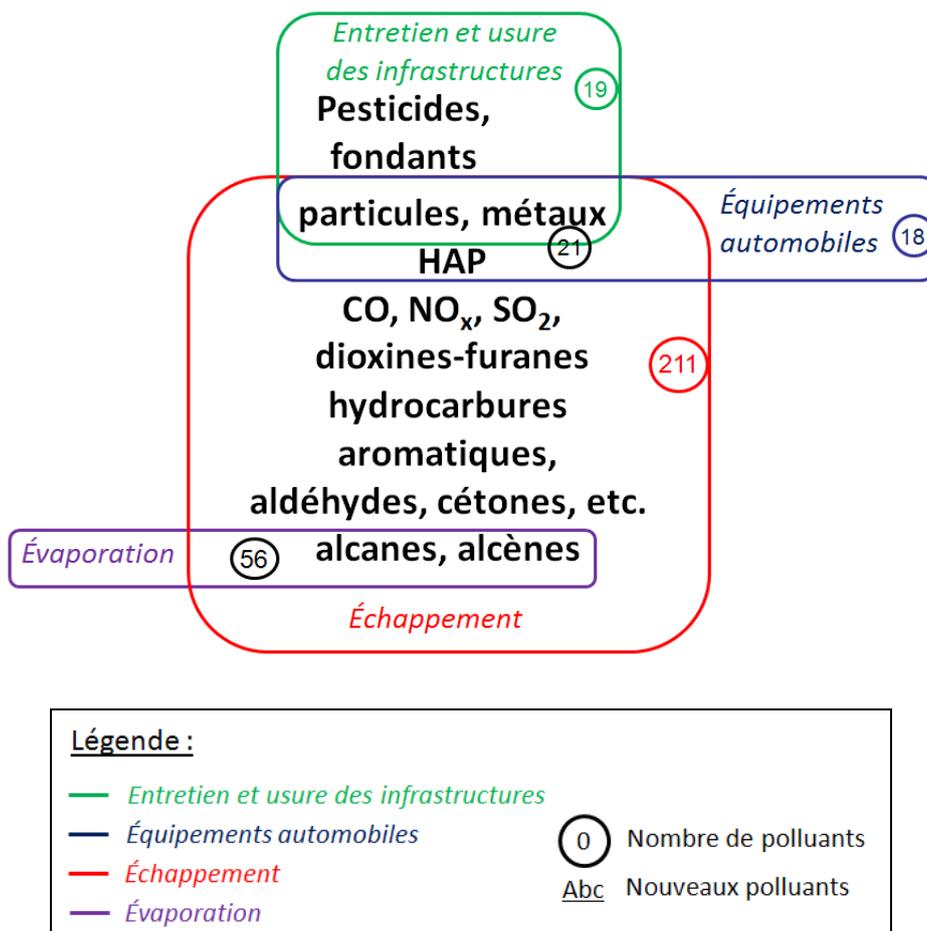


Figure 1 : Représentation de la répartition des 325 polluants en lien avec les infrastructures routières en fonction de leurs origines, lors des travaux de 2004

3.2 Mise à jour de la liste de polluants

3.2.1 Revue de la littérature

S'agissant d'une mise à jour de la liste des polluants identifiés dans les travaux publiés en 2004, la bibliographie de ce rapport a été analysée pour identifier les articles référencés en 2004 qui sont toujours disponibles sur des bases ou sites internet ainsi que les auteurs et les mots clés liés à ces articles.

L'étape suivante a consisté à rechercher les nouvelles publications sur la période 2004 à 2011 à la fois pour les auteurs identifiés ainsi que sur la base de 26 mots clés retenus qui sont présentés en Annexe 6. La base de données bibliographiques Scopus¹⁴ a été interrogée à partir de plusieurs équations de recherche.

Par ailleurs, dans le cadre de l'Observatoire des résidus de pesticides, une étude par voie d'enquête a été réalisée par l'INERIS pour documenter les produits phytosanitaires utilisés en France en bordure de voies de circulation routière (INERIS, 2008). Ces travaux ont été restitués à l'occasion du colloque « Mieux connaître les usages de pesticides pour comprendre les expositions » qui a eu lieu les 11 et 12 mai 2009. Cette étude a dressé une liste de substances actives considérées comme les plus utilisées.

Cette démarche a permis d'identifier 65 nouveaux polluants selon les thèmes identifiés qui sont présentés en détail dans l'Annexe 6 :

- Entretien des voies : 10 substances actives, pour un usage dans les produits phytosanitaires, considérées comme les plus utilisées en bordure des voies de circulation (INERIS, 2008). Il est à noter que cette liste de substances repose sur une enquête dont les données recueillies datent des années 2006 et 2007. Les usages des produits phytosanitaires évoluent beaucoup notamment en lien avec la réglementation et les politiques de réduction de ces usages.
- Usure des infrastructures routières : 1 élément métallique, le molybdène, dans les aérosols (Amato, 2011)
- Echappement : 3 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dont 1 isomère du dibenzopyrène mesuré en phase particulaire et 2 HAP lourds (Bergvall & Westerholm, 2009); le dihydrogène (H₂) (Bond, 2011) ; 43 composés carbonylés mesurés en laboratoire dans les phases gazeuses et particulaires (Jakober, 2008) ; 7 hydrocarbures non-méthaniques mesurés dans un tunnel (Legreid, 2007)
- Equipements automobiles : 1 polluant, l'acide cyanhydrique (HCN), issu de réactions secondaires avec les systèmes de traitement (pots catalytiques) (Amato, 2011 ; Key, 2007)

3.2.2 Consultation des industriels

Des courriers de demande d'information ont été adressés à 3 fédérations professionnelles du secteur de l'automobile (constructeur et équipementiers) :

- Comité des constructeurs français d'automobile (CCFA)
- Fédération des industries des équipements pour véhicules (FIEV)
- Plateforme de la filière automobile (PFA)

Le texte du courrier figure en Annexe 7. Les informations demandées concernaient d'une part les émissions à **l'échappement et par évaporation** et d'autre part les émissions de certains équipements (**fluides frigorigènes des climatisations, les disques d'embrayage, les freins et les pneumatiques**).

Le CCFA dans son courrier de réponse, fournit les éléments suivants :

¹⁴ www.scopus.com

Pour les émissions à l'échappement et par évaporation, la méthode COPERT IV est recommandée. Des compléments sont donnés pour NO₂ et NO_x des poids lourds (PL) en faisant référence aux travaux de l'Afsset (2009) et du Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO, 2009).

- Pour les fluides frigorigènes des climatisations, 2 gaz sont cités : R134a (1,1,1,2-tétrafluoroéthane – C₂H₂F₄) ou R1234yf (2,3,3,3-tétrafluoroprop-1-ène – C₃H₂F₄).
- Pour les freins et pneumatiques, une référence a été communiquée, il s'agit du rapport de 2008 de Chemrisk/DIK intitulé « State of knowledge report for tire materials and tire wear particles ».

Pour les disques d'embrayage, il est indiqué que leurs émissions sont négligeables par rapport à celles issues des freins et pneumatiques.

Ces informations ont permis d'identifier deux gaz frigorigènes en lien avec les technologies de climatisation. Des références ont été communiquées pour la caractérisation des émissions qui ont été prises en compte dans les étapes suivantes des travaux d'expertise.

3.3 Liste de polluants identifiés

Au total, 392 polluants ont été listés en lien avec les projets d'infrastructures routières. Les nouveaux polluants identifiés dans la littérature complètent la longue liste de polluants émis à l'échappement, notamment des alcools, aldéhydes, cétones et HAP.

Quatre polluants, l'hydrogène, l'acide cyanhydrique et les 2 gaz frigorigènes, sont plus atypiques et font l'objet de peu de publications concernant leur émission par des technologies automobiles.

L'hydrogène est considéré depuis les années 2000 comme une énergie alternative qui pourrait connaître un développement commercial dans les années à venir. L'article de Bond *et al.* (2011) estime les évolutions des émissions en hydrogène à plusieurs horizons en considérant cette nouvelle filière énergétique (actuellement (2010), à court terme (2020) et à long-terme (2050 et 2100)). Les émissions à court terme sont dominées par les émissions issues des transports via son utilisation pour la désulfuration des essences et du gazole et pourraient être renversées dans le futur par la production industrielle et la filière énergétique. Les auteurs soulignent aussi que l'hydrogène est un gaz à effet de serre indirect car il influence le comportement du méthane et de l'ozone dans l'atmosphère.

L'acide cyanhydrique est issu de réactions secondaires avec les systèmes de traitement (pots catalytiques). Il est peu documenté dans la littérature.

Concernant l'utilisation des gaz frigorigènes, le CCFA a précisé les dispositions réglementaires européennes (directive européenne 2006/40/CE) limitant le pouvoir de réchauffement global et qui engendre la substitution du R134a (1,1,1,2-tétrafluoroéthane – C₂H₂F₄) par le R1234yf (2,3,3,3-tétrafluoroprop-1-ène – C₃H₂F₄) au plus tard au 1^{er} janvier 2017 pour les véhicules neufs. Le décret n°737-2007 concernant le contrôle et la maintenance des fluides frigorigènes dans les systèmes frigorigènes et climatiques permet de suivre les quantités annuelles utilisées par un système de déclarations.

Pour finir, une vingtaine de substances dites pesticides ont été identifiées en lien avec l'utilisation de produits phytosanitaires pour l'entretien des voies de circulation routière. Parmi ces substances, 10 sont encore autorisées dans le cadre du règlement n°1107/2009 du Parlement européen et du Conseil, qui concerne la liste des substances actives approuvées. Les autres substances ont été interdites dans le cadre de la réglementation européenne concernant les polluants organiques persistants (directive 79/117/CEE).

Les experts du groupe de travail ont décidé de ne considérer que les seules substances actives autorisées.

Ainsi 383 polluants sont listés en Annexe 8 en lien avec les infrastructures routières (Figure 2).

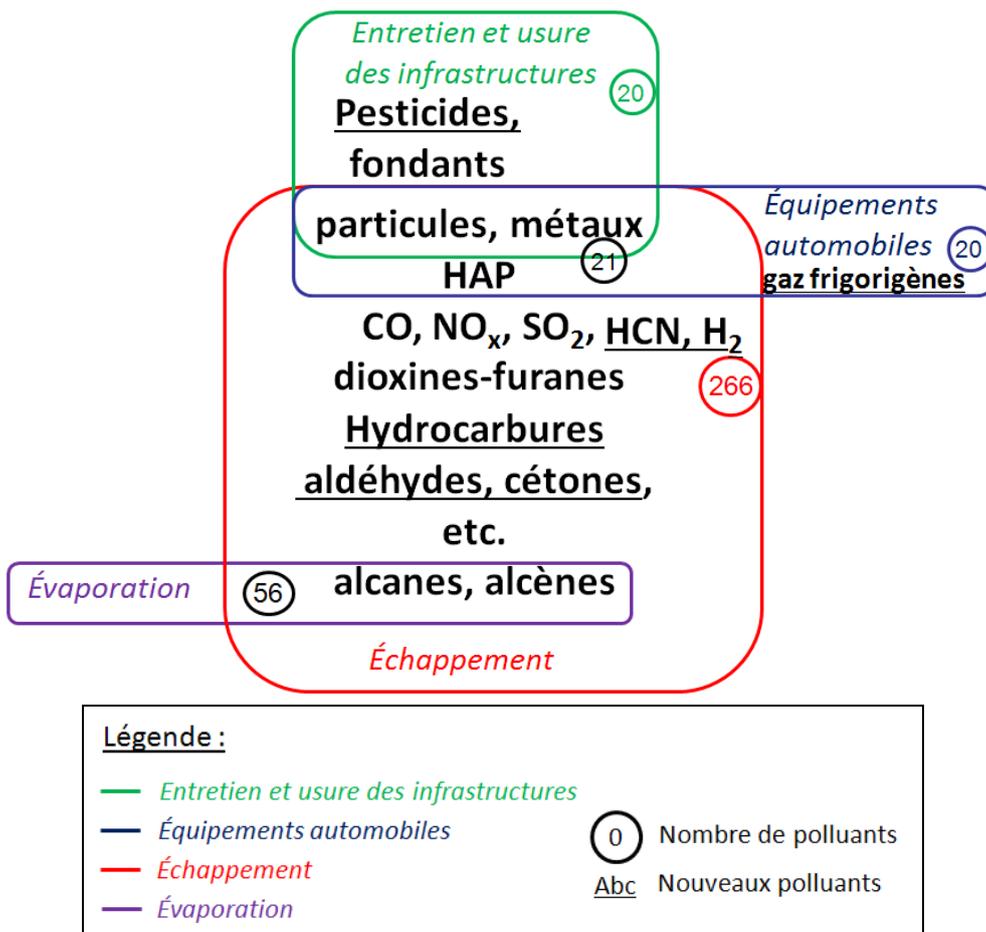


Figure 2 : Représentation de la liste mise à jour en 2012 des 383 polluants identifiés en lien avec les infrastructures routières en fonction de leurs origines

4 Cas particulier des particules et du dioxyde d'azote

Les polluants réglementés qui présentent les concentrations les plus élevées (par rapport aux valeurs réglementaires) en proximité de voies routières sont les particules et le dioxyde d'azote (NO₂). Or, ces polluants ne disposent pas de VTR et ne peuvent pas être pris en compte dans les ERS.

Par conséquent, les caractéristiques de ces polluants liées aux émissions issues du trafic routier, leurs niveaux ambiants en proximité du trafic et la méthode proposée pour les inclure dans les études d'impact des infrastructures routières sont présentés dans ce chapitre.

4.1 Caractérisation physico-chimique des particules

Le parc automobile français compte actuellement un peu plus de 30 millions de voitures particulières qui se composent à environ de 50% de véhicules équipés d'une motorisation diesel. Aujourd'hui plus de trois voitures particulières neuves sur quatre vendues en France (73,9% en 2007) sont des modèles diesel (contre moins de 50% en 2000) d'après les dernières données annuelles fournies par le Comité des constructeurs français d'automobiles (CCFA, 2007). Il existe de très larges différences d'émissions de gaz et de particules suivant le type de véhicule (essence/diesel), le type de motorisation (EURO 1,2,3,4,5), ou encore la nature du véhicule (véhicules légers, poids lourds, véhicules utilitaires, ...). On estime ainsi que les véhicules diesels contribuent très largement (>95%) aux émissions routières de particules fines (suie et carbone organique primaire) et représentent près de 80% des émissions routières de NO_x dans la zone Europe (calcul agrégé du parc roulant et des motorisations EURO ; EEA, 2010).

Les particules sont régulièrement mesurées pour les véhicules diesels, mais seulement en masse dans les cadres réglementaires (normes Euro, ...) sans distinction de taille et de manière agrégée (pas de données d'émission conditionnées uniquement par la vitesse par exemple). Les facteurs d'émissions ou caractérisations portant sur certaines tailles ou sur la composition chimique sont de faible qualité.

Historiquement, les particules étaient mesurées seulement à l'échappement des véhicules diesel, ce qui a amené la notion de particules diesel. La prise en compte des particules dans les émissions des véhicules motorisés a évolué ces dernières années avec la mesure des émissions des particules pour des véhicules essence. Ces données d'émission ont été intégrées dans la méthode COPERT IV.

La granulométrie des émissions véhiculaires (essence et diesel) peut être divisée typiquement en deux domaines de tailles principaux : un mode (ou parfois deux modes) nanométrique dit de « nucléation » (avec un diamètre moyen centré entre 10 et 30 nm) issu des processus de nucléation et de condensation de polluants gazeux semi-volatils à l'échappement et un mode dit d'« accumulation » (avec un diamètre centré à environ 60 nm) caractéristique des émissions de polluants particulaires avec condensation de polluants semi-volatils sur ces particules (par exemple condensation de composés organiques sur la suie dans le cas des moteurs diesel) (voir par exemple Kittelson, 1998 ; Kittelson *et al.*, 2006a, 2006b ; Schneider *et al.*, 2008 ; Charron et Harrison, 2009 ; Morawska *et al.*, 2009 ; Seigneur, 2009).

Le carbone suie (EC, « elemental carbon », BC, « black carbon », ou LAC, « light absorbing carbon ») représente plus de 50% des émissions particulaires en masse par les moteurs diesel (Ban-Weiss *et al.*, 2008). Par rapport aux moteurs à essence (« faibles » émetteurs de suie), les émissions de suie diesel vont offrir une large surface de condensation aux composés semi-volatils émis à l'échappement. Ce sont ces composés qui augmentent significativement les émissions particulaires du diesel et modifient donc d'autant leur composition chimique. Ce processus de

condensation est très rapide (i.e., à l'émission) puisque les particules émises à l'échappement évoluent peu chimiquement en champ proche (i.e., distance d'environ 200 m par rapport à l'émission) et leur concentration est alors principalement régie par les mécanismes de dilution et, dans le cas des particules ultrafines, de coagulation avec des particules fines et grossières (Canagaratna *et al.*, 2010). Il n'existe pas encore aujourd'hui de méthode de référence pour la mesure du carbone suie, ni de valeur réglementaire à respecter sur ce polluant. On note toutefois que des protocoles d'analyse sont actuellement évalués au niveau national et européen sur ce composé et qu'il est régulièrement cité comme paramètre pertinent pour évaluer l'impact des émissions liées au trafic dans les zones de faibles émissions européennes (Zones d'Actions Prioritaires pour l'Air, ZAPA, en France).

La réglementation européenne à l'émission évolue d'ailleurs vers la prise en compte du nombre (en complément de la masse particulaire totale d'une fraction granulométrique). Cependant, il n'y a pas actuellement de réglementation sur le nombre de particules dans le domaine de la qualité de l'air.

Au cours des 20 dernières années, des modifications profondes de la technologie des moteurs diesel (diminution du taux de soufre dans les carburants routiers, interdiction du plomb, ajout de filtres à particules) ont entraîné une diminution très significative de plus de 99% des émissions unitaires de particules du diesel exprimées en masse par km ou masse par kWh ainsi qu'une réduction en nombre de particules émises (ces émissions pouvant néanmoins être supérieures dans certaines conditions tel que lors de la régénération du filtre à particules), et des changements notables dans leurs propriétés physiques (granulométrie) et chimiques. Par conséquent, peu d'études du risque sanitaire des émissions diesel des technologies récentes sont aujourd'hui disponibles dans la littérature (Hesterberg *et al.*, 2006).

4.2 Formation du dioxyde d'azote lié au trafic

Le NO₂ est à la fois un polluant primaire (c'est-à-dire émis directement dans l'atmosphère) et un polluant secondaire (c'est-à-dire formé par réaction chimique dans l'atmosphère à partir d'autres espèces chimiques).

Les émissions de NO_x sont régulièrement mesurées à l'échappement des véhicules. Leur qualité est donc assez bonne. L'émission de NO₂ est plus incertaine car elle repose sur l'établissement d'un ratio (NO₂/NO_x) sujet à controverse et encore insuffisamment connu.

Les émissions d'oxydes d'azote (NO_x) du trafic routier contiennent des fractions variables de NO et NO₂ selon le type de moteur et le type de système de réduction des émissions à l'échappement (post-traitement). Certains systèmes de post-traitement avec filtre à particules (FAP) mènent à une augmentation significative de la fraction de NO₂ car le catalyseur du système oxyde en partie NO en NO₂ ; ce sont les FAP avec catalyseur d'oxydation dans le système de post-traitement (FAP catalysé). Les systèmes qui utilisent une méthode où le catalyseur (à base de cérium) est un additif dans le carburant ne modifient pas la fraction de NO₂ dans les émissions (FAP additif). La fraction de NO₂ dans les émissions de NO_x du trafic routier en France ont augmenté ces dernières années en raison d'une part de la diésélisation du parc automobile et d'autre part de la mise en place de systèmes de post-traitement avec FAP catalysé (Kousoulidou *et al.*, 2008 ; Afsset, 2009). Par conséquent, si les émissions de NO_x du trafic routier ont diminué en raison de la modernisation du parc automobile, les émissions de NO₂ ont augmenté (Roustan *et al.*, 2011 ; Afsset, 2009).

En proximité du trafic routier, la formation de NO₂ secondaire résulte principalement de l'oxydation de NO par l'ozone (O₃). Des concentrations d'O₃ à peu près stables pourraient donc contribuer en théorie au maintien de concentrations de NO₂ stables.

Des simulations effectuées pour l'Île-de-France ont montré que l'évolution des concentrations de NO₂ résultait principalement de l'évolution des émissions de NO₂ (donc, NO₂ primaire) et étaient assez peu sensibles aux concentrations d'O₃ (qui affectent la formation de NO₂ secondaire) (Roustan *et al.*, 2011). Par conséquent, l'évolution future des concentrations de NO₂ en proximité

des axes routiers dépendra principalement de l'évolution du parc automobile et des volumes de trafic.

4.3 Surveillance des particules (PM₁₀ et PM_{2,5}) et du NO₂ dans l'air ambiant et principaux constats

Les NO_x et les particules atmosphériques font partis des catégories de polluants atmosphériques réglementés pour la protection de la santé humaine. La stratégie communautaire de surveillance de la qualité de l'air se base aujourd'hui sur la directive européenne « Un air pur pour l'Europe » – adoptée par le Parlement européen et le Conseil le 21 mai 2008 (2008/50/CE). Ce texte fusionne la directive cadre du 27 septembre 1996 et les 3 directives filles (1999/30/CE, 2000/69/CE, 2002/03/CE). Pour les effets sur la santé humaine, cette stratégie s'intéresse en particulier au NO₂ et aux PM₁₀ et PM_{2,5}.

Depuis le 1^{er} janvier 2005, la valeur limite européenne pour les PM₁₀ est en pleine application sans marge de tolérance et plusieurs grandes agglomérations françaises présentent toujours des dépassements de cette valeur. Cette situation a mis la France en précontentieux puis contentieux européen pour une quinzaine d'agglomérations. L'Etat français a engagé des diagnostics spécifiques à ce contentieux en s'appuyant au plan national sur le LCSQA (Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air) et au plan local sur les AASQA (Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air). L'Etat a également sollicité les collectivités concernées pour évaluer les actions planifiées et à planifier et s'est engagé à réviser en urgence les Plans de protection de l'atmosphère (PPA) avec entre autres la perspective d'application de deux décisions du Grenelle de l'Environnement que sont le « plan particules » et la possibilité de mettre en place des ZAPA. La pleine application de la valeur limite relative au NO₂ est quant à elle active sans marge depuis l'année 2010 (bilan début 2011) avec des dépassements également constatés en proximité du trafic routier dense.

La mesure des particules et du dioxyde d'azote est réalisée à partir d'analyseurs automatiques :

- Les particules PM₁₀ et PM_{2,5} peuvent être suivies à l'aide de préleveurs / analyseurs automatiques : en France généralement par micro balance (TEOM – Tapered Element Oscillating Microbalance – Microbalance à Élément Conique Oscillant¹⁵) ou par jauge bêta¹⁶. La méthode de référence (EN 12341 : 1999) se base toutefois sur la gravimétrie (prélèvement sur filtre et pesée en laboratoire) et la mise en œuvre de moyens automatiques nécessite de prouver l'équivalence des résultats avec la méthode gravimétrique. Les collecteurs (par exemple Digitel DA-80 ou Partisol+) permettent le prélèvement des particules contenues dans un volume dosé d'air. Les particules sont recueillies sur des filtres (cellulose, fibre de verre, ...). Les analyses de particules sont réalisées en laboratoire. Le changement de filtre est programmable : plusieurs filtres peuvent se succéder selon la fréquence désirée. L'air passe par une tête de prélèvement et est dirigé vers le filtre. En fin de parcours, on trouve un débitmètre et une pompe. Le débit de fonctionnement est programmable. Les filtres sont analysés en différé en laboratoire (norme NF EN 15549). Pour les particules, la prise en compte de la fraction volatile depuis le 1^{er} janvier 2007 a induit une augmentation des niveaux de concentrations mesurées. Il faut donc utiliser des données postérieures à 2007 pour avoir une meilleure représentation des niveaux de particules.

¹⁵ Les particules en suspension dans l'air prélevées en continu augmentent la masse du système oscillant et induisent une décroissance de la fréquence de vibration du système. Cette variation de fréquence est convertie en variation de masse.

¹⁶ Les particules se déposent sur un filtre en fibre de verre situé entre une source bêta et un compteur Geiger. Les rayons de faible énergie sont absorbés par la matière particulaire par collision. L'absorption est proportionnelle à la masse de matière rencontrée.

- Le dioxyde d'azote peut être suivi à l'aide d'un analyseur automatique par chimiluminescence intégrant un convertisseur NO_2 en NO , avec mesure du NO , des NO_x , et déduction du NO_2 – norme NF EN 14211 (2005). Il est aussi possible de procéder à des méthodes de mesure à diffusion. L'échantillonneur passif pour la mesure du dioxyde d'azote est basé sur le principe de la diffusion passive de molécules de dioxyde d'azote sur un absorbant, la triéthanolamine. La quantité de dioxyde d'azote absorbée par l'absorbant est proportionnelle à sa concentration dans l'environnement. Le polluant gazeux est transporté par diffusion moléculaire à travers la colonne d'air formée par le tube jusqu'à la zone de piégeage où il est retenu et accumulé sous la forme d'un ou plusieurs produits d'absorption. L'analyse repose sur l'extraction et sur l'analyse des produits d'absorption (colorimétrie à 540 nm selon la réaction de Saltzman).

Les particules PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$ et le NO_2 étant réglementés pour la directive 2008/50/CE relative à la qualité de l'air ambiant, ces polluants font donc l'objet d'une surveillance généralisée sur le territoire national par les AASQA.

En proximité trafic, les concentrations généralement relevées sont :

- Pour PM_{10} , comprises entre $26 \mu\text{g.m}^{-3}$ (percentile 25 de l'ensemble des stations trafic du territoire) et $35 \mu\text{g.m}^{-3}$ (percentile 75 de l'ensemble des stations trafic du territoire) en moyenne annuelle. Des valeurs sensiblement plus élevées (supérieures à $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ sur une année) peuvent être observées sur quelques stations des plus grandes agglomérations en France.
- Pour $\text{PM}_{2,5}$ comprises entre $15 \mu\text{g.m}^{-3}$ (percentile 25 de l'ensemble des stations trafic du territoire) et $22 \mu\text{g.m}^{-3}$ (percentile 75 de l'ensemble des stations trafic du territoire) en moyenne annuelle. Des valeurs sensiblement plus élevées (proches de $30 \mu\text{g.m}^{-3}$ sur une année) peuvent être observées sur quelques stations des plus grandes agglomérations en France.
- Pour NO_2 , comprises entre $36 \mu\text{g.m}^{-3}$ (percentile 25 de l'ensemble des stations trafic du territoire) et $56 \mu\text{g.m}^{-3}$ (percentile 75 de l'ensemble des stations trafic du territoire) en moyenne annuelle. Des valeurs sensiblement plus élevées (supérieures à $80 \mu\text{g.m}^{-3}$ sur une année) peuvent être observées sur quelques stations des plus grandes agglomérations en France.

Par ailleurs, les concentrations en NO_2 ont légèrement décliné sur les stations de fond urbain. Cette décroissance est toutefois plus modeste sur les stations de trafic avec même une stagnation voire une très légère augmentation sur certaines d'entre elles. Ce constat provient de l'évolution à la hausse du rapport $\text{NO}_2 / \text{NO}_x$ à l'échappement des véhicules automobiles et routiers (principal secteur émetteur), qui est liée à une augmentation dans le parc routier national de la proportion des véhicules diesels équipés de catalyseur d'oxydation (voir chapitre 4.2).

Ainsi, si la plupart des sites urbains (à l'exception de Paris) et la totalité des sites périurbains respectent la valeur limite de $40 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne annuelle, de nombreuses stations de proximité routière présentent des niveaux de concentrations en NO_2 supérieurs à cette valeur limite. Entre 20 et 25 agglomérations sont concernées par de tels dépassements.

La valeur limite de $200 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne horaire est également dépassée sur quelques agglomérations.

Le NO_2 constitue un enjeu important de qualité de l'air au regard des valeurs limites européennes et son évaluation doit être poursuivie, en particulier en proximité routière.

Les particules de type PM_{10} présentent aujourd'hui des niveaux de concentrations ponctuellement supérieurs à la valeur limite de $40 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne annuelle, en particulier dans certaines très grandes agglomérations (Paris, Lyon et Toulouse). La valeur limite journalière de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ à ne pas dépasser plus de 35 jours par an est en revanche dépassée sur 16 zones (principalement

urbaines) en France. Les émissions proviennent de multiples secteurs (trafic routier, installations de chauffage, sources agricoles, installations industrielles, sources naturelles, etc.).

Les particules de type $PM_{2,5}$ sont également mesurées dans le cadre de la directive 2008/50/CE. Au regard de la valeur limite actuellement retenue ($25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en moyenne annuelle), celle-ci n'est actuellement dépassée que sur quelques rares capteurs. La valeur cible française de $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ est toutefois dépassée sur près de 20% des sites de mesures.

Comme le NO_2 , les particules constituent donc un enjeu important de qualité de l'air au regard des valeurs limites européennes et son évaluation est en cours de renforcement, en particulier en proximité routière mais également dans certaines zones rurales.

4.4 Proposition d'intégration du NO_2 , des PM_{10} et des $PM_{2,5}$ dans les études d'impact

Le groupe de travail considère essentiel d'inclure le NO_2 et les particules (PM_{10} et $PM_{2,5}$) dans une étude d'impact des infrastructures routières sur le volet « air et santé ». En effet, les infrastructures routières sont des émetteurs importants de ces polluants, et l'exposition de la population à ces polluants se traduit par des impacts sanitaires importants ; baisse de la qualité de vie, hausse des hospitalisations, hausse de la mortalité, baisse de l'espérance de vie.

Cependant, l'absence de VTR ne permet pas d'inclure ces polluants dans une EQRS.

Concernant les particules diesel, les outils et données actuellement disponibles ne permettent pas de les intégrer dans une démarche d'EQRS. La mesure *in situ* des particules diesel n'est pas normalisée. Au niveau des VTR, celle proposée par l'US EPA porte sur les effets non cancérogènes chroniques. Aucune donnée n'est actuellement disponible pour caractériser les effets cancérogènes sans seuil établis pour les gaz d'échappement diesel.

Il n'est pas non plus possible de conduire une évaluation de l'impact sanitaire (EIS) pour traiter ces polluants dans le cadre d'une infrastructure routière en raison de l'absence d'une relation entre l'exposition aux particules et au NO_2 en tant qu'indicateur de la pollution liée aux infrastructures routières et les risques pour les populations résidant à proximité. En effet, la démarche de l'EIS s'appuie sur des études épidémiologiques réalisées en zone urbaine à partir d'indicateurs de la pollution de fond. Elle n'est donc pas transposable au cas particulier d'une exposition à proximité d'une infrastructure routière.

Dans ce contexte, plusieurs approches sont proposées pour l'intégration de ces polluants dans les études d'impact :

- Comparaison des niveaux observés et des niveaux prévus après mise en place de la nouvelle infrastructure aux valeurs guides de l'OMS. Ces valeurs guides pour les PM sont estimées comme étant les niveaux au-delà desquels il a été observé une relation statistiquement significative entre pollution et mortalité totale, cardiopulmonaire et par cancer du poumon. Cela ne signifie pas par ailleurs qu'il n'y a pas d'effet en-deçà de ces valeurs guides. Une comparaison avec les valeurs réglementaires pourrait être faite en accompagnement.
- Contribution limitée à un pourcentage des valeurs guides de l'OMS ou des valeurs réglementaires.
- Réalisation à terme d'évaluation des risques sanitaires dès lors que des VTR pour l'exposition aiguë et chronique aux particules (PM_{10} et $PM_{2,5}$) et au NO_2 seront développées.

La première approche propose une comparaison des niveaux ambiants (avant et après la mise en place du projet routier) avec des concentrations de référence : les valeurs guides de l'OMS (qui sont les plus contraignantes) et les valeurs cibles de la réglementation européenne.

La deuxième approche possible va plus loin. Elle est utilisée dans certains pays européens et aux Etats-Unis et consisterait à comparer les concentrations de ces polluants à des valeurs de référence (valeurs réglementaires ou valeurs guides de l'OMS) et à limiter l'impact potentiel de

l'infrastructure routière par rapport à ces valeurs limites. Si la réglementation est respectée pour la concentration de fond, c'est-à-dire sans le projet d'infrastructure routière, alors l'impact de l'infrastructure routière pourrait être contraint soit à ne pas mener à un dépassement des valeurs limites soit à être limité à une faible fraction de ces valeurs limites. Par exemple, un projet est accepté en Autriche et aux Pays-Bas si l'impact de l'infrastructure est inférieur à 3% des valeurs limites annuelles de NO₂ et PM₁₀ (soit pour les deux polluants 1,2 µg.m⁻³ par rapport à 40 µg.m⁻³) (voir Chapitre 2). Si la réglementation n'est pas respectée pour la concentration de fond, alors l'impact de l'infrastructure routière pourrait être limité de manière plus stricte. Par exemple, un projet est accepté en Autriche si son impact est inférieur à 1% des valeurs limites annuelles de NO₂ et PM₁₀ (soit pour les deux polluants 0,4 µg/m³) (voir chapitre 2). Aux Etats-Unis, un projet est accepté dans ce cas si l'impact de l'infrastructure en concentration annuelle est inférieur à 0,3 µg.m⁻³ pour PM_{2,5} (2% de la valeur limite), 1 µg.m⁻³ pour NO₂ (1% de la valeur limite) et 1 µg/m³ pour PM₁₀.

La troisième approche serait la plus appropriée par rapport aux études d'évaluation des risques sur la santé qui sont réalisées pour les grands projets d'infrastructures routières. Mais elle ne peut être mise en œuvre dès à présent car elle nécessite au préalable la construction de VTR pour l'exposition aiguë et chronique aux PM₁₀ et PM_{2,5} et au NO₂.

Les valeurs guides de l'OMS et les valeurs réglementaires pour la qualité de l'air sont reprises dans le Tableau II.

Tableau II : Valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et valeurs limites de l'Union Européenne (UE)

Polluant	Valeur guide de l'OMS	Valeur limite de l'UE	Nombre maximal de dépassements autorisés par année civile
NO ₂	200 µg.m ⁻³ sur 1 heure	200 µg.m ⁻³ sur 1 heure	18
	40 µg.m ⁻³ sur 1 an	40 µg.m ⁻³ sur 1 an	
PM ₁₀	50 µg.m ⁻³ sur 1 jour	50 µg.m ⁻³ sur 1 jour	35
	20 µg.m ⁻³ sur 1 an	40 µg.m ⁻³ sur 1 an	
PM _{2,5}	25 µg.m ⁻³ sur 1 jour	aucune sur 1 jour	
	10 µg.m ⁻³ sur 1 an	25 µg.m ⁻³ sur 1 an (2015)	
		20 µg.m ⁻³ sur 1 an (2020)	

5 Hiérarchisation des polluants

5.1 Méthode de hiérarchisation

La démarche proposée en 2004 pour la sélection des polluants à prendre en compte dans le cadre d'une étude d'impact reposait sur la disponibilité de deux informations clés concernant chaque polluant : la connaissance des facteurs d'émission (FE) de la source quelle qu'elle soit et la disponibilité de valeurs toxicologiques de référence (VTR) concernant le polluant. Le ratio entre la valeur du FE et la VTR retenue pour la substance était calculé pour les effets à seuil. Pour les polluants avec effet sans seuil (dans cette étude, les polluants cancérigènes), une approche similaire utilisant le produit du FE et de l'excès de risque unitaire (ERU) était utilisée. Il en résultait donc deux classements par voie et durée d'exposition : un pour les polluants avec effet avec seuil et un pour les polluants avec effet sans seuil. Cette méthode qui utilise le FE plutôt que la concentration atmosphérique en bordure de voirie est justifiée pour la hiérarchisation des polluants car les concentrations des polluants sont proportionnelles à leur taux d'émission en champ proche de la source d'émission (la fraction de la substance qui a réagi chimiquement ou qui a été déposée sur des surfaces peut être considérée négligeable). La démarche de sélection articulée en deux étapes (FE et VTR) et les différents critères retenus pour la sélection finale des polluants sont détaillés dans l'Annexe 9.

Pour la mise à jour de la liste de polluants, le groupe de travail a retenu une méthode de hiérarchisation reposant aussi sur le calcul d'un indice de hiérarchisation établi à partir des données d'émissions et des valeurs de référence (VTR et valeurs guides) en tenant compte de deux voies d'exposition considérées.

Contrairement à l'approche utilisée en 2004 où deux classements distincts étaient réalisés pour les effets avec seuil et les effets sans seuil, le groupe de travail a décidé d'établir, pour chaque scénario et voie d'exposition, une seule liste en traitant conjointement les polluants présentant une VTR à seuil et/ou un ERU. En effet, afin de simplifier la hiérarchisation et d'assurer une meilleure lisibilité, le groupe de travail a calculé pour les polluants présentant un ERU, la concentration ou la dose équivalente à un excès de risque individuel de 10^{-6} , c'est-à-dire : $10^{-6} / \text{ERU}$. Le choix du niveau de risque de 10^{-6} est protecteur. Cette concentration ou dose a été mise en regard du facteur d'émission associé à la substance.

Concernant les voies et durées d'exposition, les situations suivantes sont prises en compte comme en 2004 :

- **Voie respiratoire** : expositions aiguë et chronique
- **Voie orale** : exposition chronique.

Pour l'exposition par voie respiratoire, l'approche repose directement sur le ratio entre la valeur du FE et la valeur de référence (VTR et valeurs guides) par inhalation retenues pour la substance. Contrairement à la voie orale, l'approche par inhalation prend en compte les durées d'exposition à court et long terme.

Pour l'exposition par voie orale, la hiérarchisation prend aussi en compte le FE, la valeur de référence (VTR et valeurs guides) par ingestion et un facteur de bioconcentration de la substance dans un aliment consommé. Dans le cadre d'une démarche de hiérarchisation, le groupe de travail n'a pas souhaité complexifier les calculs en intégrant la grande variété des média d'exposition par ingestion et les différentes populations pouvant être exposées via l'ingestion de poussières et d'aliments contaminés. L'aliment retenu pour ce calcul de hiérarchisation est un légume feuille (laitue) car la bioconcentration des polluants s'effectue à la fois par les feuilles avec un bio-transfert de l'air vers la plante et par les racines avec un bio-transfert du sol vers la plante, ce qui permet d'inclure l'ensemble des polluants susceptibles d'être bio-concentrés dans les plantes. En effet, les dépôts de polluants gazeux sont considérés comme une voie d'exposition négligeable en

raison des faibles vitesses de dépôt des hydrocarbures et de la dégradation des autres polluants dans le sol ; on fait donc l'hypothèse que leur bioconcentration a lieu seulement par bio-transfert dans les feuilles. Par ailleurs, l'absorption des particules par les feuilles n'est pas retenue ici car on fait l'hypothèse que les légumes sont lavés avant consommation et qu'il n'y a pas de bio-transfert des particules dans les feuilles ; les particules sont donc bio-concentrées par les racines après dépôt sur le sol. Cependant, une étude récente (Schreck, 2012) documente le transfert foliaire dans les plantes d'éléments métalliques en phase particulaire. Elle montre que les éléments métalliques pénètrent dans la plante après la déposition particulaire ce qui peut représenter une des principales voies d'entrée des espèces métalliques dans les plantes. Toutefois, davantage d'études sont nécessaires pour mieux comprendre ce mode de transfert. Pour les polluants semi-volatils (c'est-à-dire présents à la fois en phases gazeuse et particulaire), tels que certains HAP, dioxines et furan-es, les deux processus de bio-transfert sont pris en compte, l'absorption par les feuilles pour la fraction gazeuse et le dépôt sur le sol et l'absorption par les racines pour la fraction particulaire.

La méthode utilisée pour le calcul des dépôts des polluants, leur partage entre phases gazeuse et particulaire et leurs bio-transferts dans la plante est celle de l'U.S. EPA (HHRAP, 2005). Le bio-transfert de la substance dans les feuilles est proportionnel à la concentration de la substance dans l'air et, par conséquent, proportionnel au FE de la substance. Le dépôt de la substance de l'atmosphère sur le sol est proportionnel à la concentration de la substance dans l'air et, par conséquent, est aussi proportionnel au FE de la substance. La concentration de la substance dans le sol est donc proportionnelle au FE, ce qui implique que le bio-transfert de la substance du sol vers la plante par les racines est aussi proportionnel au FE. Par conséquent, la concentration de la substance dans la plante est proportionnelle au FE et le facteur de proportionnalité inclut les différents processus mentionnés plus haut (dépôts sur le sol et bio-transferts air-feuilles et sol-racines).

Les équations pour le calcul de l'indice de hiérarchisation sont les suivantes pour un effet à seuil :

- Pour le classement respiratoire :

$$\text{FE (g/véhicule/km)} / \text{VTR } (\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$$

- Pour le classement oral chronique :

$$\text{FE (g/véhicule/km)} \times (0,01 \text{ Fv Bvag} + 4,4 \times 10^4 \text{ Brag}) / \text{VTR (mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{j}^{-1})$$

où Fv est la fraction de la substance dans la phase gazeuse, Bvag (g air / g plante sèche) est le coefficient de bio-transfert air/feuille et Brag (g sol / g plante sèche) est le coefficient de bio-transfert sol/plante. Les calculs menant à cette formulation sont présentés dans l'annexe 10.

Le transfert air-plante représenté par le facteur Bvag est pris en compte seulement pour les polluants gazeux.

Le transfert sol-plante représenté par le facteur Brag est pris en compte seulement pour les métaux particulaires (donc Bvag = 0).

Ces 2 voies de transferts sont en revanche prises en compte pour les polluants semi-volatils (HAP, dioxines...) avec une fraction en phase gazeuse pour Bvag et une fraction en phase particulaire pour Brag.

5.2 Recherche des données

La première étape consistait à recenser pour tous les polluants identifiés l'existence de valeurs de référence (VTR et valeurs guides) pour les voies et les durées d'exposition considérées. La deuxième était pour les polluants ayant des valeurs de référence (VTR et valeurs guides) de documenter leurs émissions. Et enfin, la troisième étape concernait les niveaux de concentrations (air et dépôt) disponibles à proximité d'infrastructures routières afin de mettre en perspective les résultats de la hiérarchisation avec des données de terrain pour les différentes voies et durées d'exposition prises en compte.

5.2.1 Disponibilité de valeurs de référence

Une recherche exhaustive des VTR a été réalisée dans la base furetox (www.furetox.fr). Furetox est une base de données recensant les VTR publiées par un certain nombre d'organismes pour des expositions chroniques uniquement. Cette base permet un accès rapide aux VTR associées à chaque substance recherchée pour la voie orale et inhalatoire ainsi que pour les effets à seuil et sans seuil. Elle recense les VTR établies par des instances nationales ou internationales, reconnues dans le domaine de l'évaluation des risques, incluant l'ATSDR¹⁷, l'OEHHA¹⁸, l'OMS/JECFA¹⁹, l'INERIS, Agritox, JMPR²⁰, Santé Canada, le RIVM²¹, l'U.S. EPA²² et l'OMS²³/IPCS²⁴. Le numéro d'enregistrement CAS de chaque substance a été utilisé dans le moteur de recherche afin d'interroger Furetox sur l'existence ou non d'une ou de plusieurs VTR pour la substance. Il a été décidé de ne pas prendre en compte les types de valeurs suivantes ne correspondant pas à la problématique du groupe de travail : VTR orale Food and Agriculture Organisation (FAO) et Joint Meeting on Pesticides Residues (JMPR), VTR intermédiaire de l'ATSDR, Valeur limite pour l'eau, Valeur ayant un statut provisoire (DRAFT) (Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI), ATSDR).

Pour les VTR associées à une exposition à court terme, les valeurs publiées par l'ATSDR et l'OEHHA ont été consultées pour chaque substance répertoriée.

Par ailleurs, pour l'exposition par inhalation, les valeurs guides de qualité de l'air ambiant et de qualité de l'air intérieur proposées par l'OMS, les VTR et les valeurs guides de qualité d'air intérieur (VGAI) proposées par l'Anses ont également été retenues pour la hiérarchisation. Pour la voie orale, les doses journalières admissibles retenues dans le cadre de la surveillance des résidus de pesticides dans les aliments ont été utilisées (Anses, 2012).

Étant donné le nombre élevé de polluants disposant de VTR et des délais contraints par l'expertise, la sélection de la VTR pour chaque substance selon la durée et la voie d'exposition a été réalisée de la manière suivante :

- Valoriser l'expertise réalisée par l'Anses afin d'assurer une cohérence dans les travaux scientifiques de l'agence en retenant en première intention soit les VTR ou les valeurs guides de qualité de l'air intérieur proposées par l'Anses ;
- En l'absence d'expertise de l'Anses sur le sujet, retenir la VTR la plus protectrice.

Il est à souligner que l'exercice demandé s'attache à hiérarchiser les polluants d'intérêt à prendre en compte dans les études d'impact. Ainsi, cette démarche proposée dans un cadre de hiérarchisation ne serait pas appropriée dans l'instruction d'une évaluation quantitative des risques sanitaires pour les populations résidant à proximité des infrastructures routières. En effet, si plusieurs VTR existaient pour une même durée et voie d'exposition pour une substance, il serait nécessaire d'analyser de manière approfondie la construction de ces valeurs en évaluant la transparence de la démarche, le choix de l'effet critique, de l'étude clé, de la dose critique, des facteurs d'incertitude, les ajustements éventuels, etc.

Afin d'apporter un éclairage complémentaire sur le danger potentiel associé à chaque substance recensée, le règlement n°1272/2008, appelé CLP²⁵ a été consulté via le numéro CAS de chaque substance afin de rechercher un éventuel classement en tant que substance cancérigène, mutagène ou toxique pour la reproduction (CMR) et a été indiqué le cas échéant dans le tableau de hiérarchisation. En parallèle, la base de données du CIRC (Centre international de recherche sur le cancer) a également été consultée via le numéro CAS de chaque substance afin de

¹⁷ ATSDR : Agency for Toxic Pollutants and Disease Registry (états-Unis)

¹⁸ OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment, agence de l'état de Californie, états-Unis

¹⁹ JECFA : Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives

²⁰ JMPR : Joint Meeting on Pesticides Residues

²¹ RIVM : Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Institut national de la santé publique et de l'Environnement (Pays-bas).

²² US EPA : United States Environmental Protection Agency

²³ OMS : Organisation Mondiale de la Santé

²⁴ IPCS : International Program on Chemical Safety

²⁵ CLP : Classification, Labelling, Packaging

rechercher un éventuel classement de la substance en tant que cancérigène. Le classement a été également spécifié lorsqu'il existait dans le tableau de hiérarchisation.

Sur les 383 polluants identifiés, 114 polluants disposent au moins d'une VTR pour une voie et une durée d'exposition considérée.

- 88 polluants ayant une VTR orale chronique
- 29 polluants ayant une VTR respiratoire aiguë
- 73 polluants ayant une VTR respiratoire chronique

Concernant les effets à seuil et sans seuil, 16 polluants disposent d'une VTR à seuil et sans seuil pour l'exposition chronique (8 pour la voie orale et 8 pour la voie respiratoire). La documentation des facteurs de bioconcentration pour les calculs pour la voie orale a été réalisée dans la base de données HHRAP. 48 polluants ont des facteurs de bioconcentrations renseignés dans cette base sur les 88 polluants avec une VTR orale.

Parmi les 270 polluants ne disposant pas de valeur de référence, 30 polluants sont classés cancérigènes par le CIRC et/ou CMR au niveau du règlement CLP dont 24 sont des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

L'Annexe 11 présente le tableau de recensement des valeurs de référence retenues pour les 114 polluants et le tableau listant les polluants classés cancérigènes par le CIRC et/ou CMR au niveau du règlement CLP mais n'ayant pas de VTR.

5.2.2 Documentation des émissions

Comme dans les travaux de 2004, différentes origines d'émissions sont considérées dans le cadre de ces travaux d'expertise : émissions à l'échappement, par évaporation et « hors échappement » représentées par l'usure des équipements automobiles dont les garnitures de frein (frictions de revêtements de frein lors des phases de freinage) et celles des pneus (frictions entre la surface routière et le pneu), mais aussi l'usure de l'infrastructure notamment le revêtement routier (asphalte constitué d'agrégats minéraux et de liant bitumeux) et enfin la remise en suspension de la poussière présente sur la route (littéralement toute particule naturelle ou anthropique ayant sédimentée sur la route).

Pour documenter les émissions, les experts du groupe de travail ont décidé de calculer des facteurs d'émission à partir de la méthode COPERT IV et de compléter ces données, notamment pour les polluants et phénomènes d'émission non couverts par cette méthodologie, par une analyse de la littérature publiée depuis 2004.

5.2.2.1 Scénarios / configurations

Les experts du groupe de travail ont décidé de fonder ce travail sur la prise en compte de 6 configurations de voiries et de conditions de circulation associées, en distinguant les conditions d'exposition aiguë représentée par un scénario « embouteillage » avec des conditions de trafic congestionnés et l'exposition chronique représentée par des conditions normales de trafic des différents véhicules circulant sur une voirie (véhicules particuliers (VP), véhicules utilitaires légers (VUL) et poids lourds (PL)). Trois configurations de voiries ont été prises en compte :

- scénario Urbain
- scénario Autoroute
- scénario Route nationale

Par ailleurs, deux horizons ont été choisis pour représenter les situations actuelle (2015) et future (2030). Les facteurs d'émission seront donc calculés (à partir d'outils) ou estimés (à partir de la littérature) pour chacun de ces scénarios en vue de la hiérarchisation. Les détails de ces scénarios sont présentés en Annexe 12.

5.2.2.2 Facteurs d'émission issus des outils de calcul européens

Pour estimer les émissions polluantes du transport routier, des modèles et outils ont été développés de manière spécifique. Le modèle COPERT (COmputer Program to calculate Emission from Road Transport, COPERT IV, 2012) de l'Agence européenne de l'environnement (AEE) est basé sur la connaissance des émissions unitaires des différents véhicules circulant sur une voirie, de leur réglementation par référence à leur date de mise en service et les normes EURO qui s'y appliquent, de leur motorisation (essence ou diesel), de la composition générale du parc empruntant la voie considérée et des données de circulation (flux et vitesse) (Sétra, 2009).

Ce modèle est fondé sur une base de données des facteurs d'émission routiers qui permettent ensuite de calculer un facteur d'émission unitaire d'un véhicule spécifique en circulation, ou, par agrégation des véhicules des différents types et réglementations d'un trafic, exprimé en grammes par kilomètre, désignant la quantité de polluant émis par ceux-ci sur un parcours d'un kilomètre.

Des facteurs de correction prenant en compte notamment l'effet de la composition du carburant ou la dégradation des caractéristiques d'émission liées au vieillissement d'un parc de véhicules sont intégrés au modèle et permettent d'affiner les résultats du calcul d'émission.

La dernière version de ce modèle qui est appelée COPERT IV a été retenue par le groupe de travail. L'outil CopCETE du Réseau Scientifique et Technique du ministère chargé de l'Ecologie, qui met en œuvre la méthode COPERT IV et qui intègre la composition du parc roulant français jusqu'en 2030, a été utilisé pour le calcul de facteurs d'émissions unitaires « **échappement** » et « **hors échappement** » de plus de 50 polluants ou familles de polluants. Les émissions « hors échappement » incluent les polluants émis par l'usure des équipements (freins, pneumatiques, embrayage) mais également par l'usage et la maintenance des routes. L'Annexe 13 précise pour chaque polluant pris en compte dans l'outil CopCETE les émissions prises en compte et les données associées pour les émissions hors échappement.

Pour les émissions hors échappement, la référence utilisée dans l'outil CopCETE est le document « Sélection des agents dangereux à prendre en compte dans l'évaluation des risques sanitaires liés aux infrastructures routières » (Cassadou, 2004). Certains facteurs d'émissions peuvent varier de ceux proposés par COPERT.

L'Annexe 13 décrit l'outil CopCETE et les hypothèses de calculs prises en compte pour déterminer les facteurs d'émissions unitaires qui sont fonction de la vitesse du véhicule ou du trafic considéré, et plus généralement de l'usage du/des véhicule(s) (charge, etc.) et des conditions de circulation.

5.2.2.3 Facteurs d'émission tirés de la littérature

Pour compléter les données issues de la méthode COPERT IV, notamment pour les polluants manquants et phénomènes d'émission non couverts, une analyse des articles publiés depuis 2004 et identifiés comme traitant des émissions liées au trafic routier et des émissions de particules hors échappement a été réalisée. L'Annexe 14 synthétise les données issues de la littérature et un tableau récapitulatif des FE inventoriés est donné.

Il ressort de cette analyse bibliographique que des données d'émission sont documentées pour 13 polluants ayant des VTR mais non couvertes par l'outil CopCETE et la méthode COPERT IV. Les experts du groupe de travail ont souhaité prendre en compte ces données d'émission dans la hiérarchisation. Les données d'émission sont exprimées dans différentes unités et ont été converties en FE unitaire en g/véhicule/km pour les 6 scénarios retenus. L'analyse bibliographique a permis de documenter d'une part l'émission directe de polluants liés à l'usure d'équipements, et d'autre part la remise en suspension de particules, mais également certains facteurs d'émission à l'échappement qui seront confrontés aux valeurs estimées par les outils de calcul.

5.2.2.3.1 *Facteurs d'émission à l'échappement tirés de la littérature*

La littérature documente aussi certaines émissions à l'échappement. Les émissions de métaux, de composés organiques volatils (COV) et de HAP ont été quantifiées sur bancs d'essai et en milieu ambiant (mesures en tunnel). Les HAP émis à l'échappement diffèrent entre les véhicules essence et diesel, ces premiers émettant plutôt des HAP lourds (avec au moins cinq noyaux aromatiques,

tel que le benzo(a)pyrène). Dans l'ensemble, les mesures effectuées en milieu ambiant sont cohérentes avec les FE des bases de données standards. Une comparaison des données de la littérature avec celles de CopCETE et de COPERT IV montre des différences pour une dizaine de polluants (Annexe 14). Les données d'émissions sont fonction de nombreuses variables (par exemple, intensité du trafic, composition du parc roulant, vitesse du trafic) et sont donc difficiles à quantifier avec précision.

5.2.2.3.2 Émissions liées à l'usure d'équipements automobiles ou d'infrastructure routière

Les émissions d'un certain nombre d'éléments métalliques en lien avec l'usure des équipements automobiles ont été étudiées. Il ressort que :

- Les métaux utilisés comme catalyseurs, tels que le platine et le palladium, dans les systèmes de réduction des émissions peuvent être émis dans l'atmosphère, mais il n'y a pas de VTR associée à ces métaux (Limbeck, 2007).
- Trois métaux émis principalement par l'usure des plaquettes de frein sont le baryum (Ba), le cuivre (Cu) et l'antimoine (Sb). Plusieurs études des émissions hors-échappement ont identifié et, dans certains cas, quantifié les émissions liées à l'abrasion des plaquettes de freins (As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V, Zn, Mo, W, Sn, Sb et Hg) (Bukowiecki, 2009 ; Hjortenkraus, 2007 ; Johansson, 2009 ; Kummer, 2009 ; Bukoweicki, 2010, Gielt, 2010 ; Thorpe and Harrison, 2008)
- Deux métaux émis principalement par l'usure des pneus sont le zinc (Zn) et le cadmium (Cd) ; des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont aussi émis par l'usure des pneus (Blok, 2005 ; Hjortenkraus, 2007 ; Chemrisk, 2008 ; Kummer, 2009 ; Krieder, 2010 ; Kupiainen and Pirjola, 2011 ; Aatmeeyata and Sharma, 2010 ; Thorpe and Harrison, 2008)
- La corrosion des barrières de sécurité mène à l'émission de métaux (par exemple Zn), mais il est peu probable que ces polluants soient émis dans l'atmosphère en quantité importante car elles sont principalement entraînées dans le sol par les eaux de ruissellement.

5.2.2.3.3 Émissions par remise en suspension de particules

À partir des données obtenues sur un grand nombre de villes européennes, il a été montré que l'impact des émissions de particules hors échappement sur les concentrations de PM₁₀ est équivalent à celui des émissions directes de particules à l'échappement (Querol *et al.*, 2004 ; Harrison *et al.*, 2001 ; Lenschow *et al.*, 2001). La composante principale est la remise en suspension par le trafic des particules déposées sur les routes. Par exemple, Bukowiecki *et al.* (2010) estiment que la resuspension des poussières contribue à hauteur de 38 et 56% des concentrations de PM₁₀ dans une rue-canyon et au bord d'une route, respectivement.

Le groupe de travail a proposé une approche pour quantifier les émissions par remise en suspension d'éléments métalliques, à partir des facteurs de remise en suspension de PM₁₀ et de données sur la composition chimique de ces particules déposées sur les voies à partir de l'étude d'Amato *et al.* (2011).

Des facteurs d'émissions (FE) ont été proposés dans plusieurs études. Les FE des PM₁₀ de l'étude de Pay *et al.* (2011) qui sont à 217 mg/(véhicule-km) pour les PL et 88 mg/(véhicule-km) pour les VUL sont retenus. Cette dernière donnée de FE peut aussi être utilisée pour les VL en accord avec Thorpe *et al.* (2007) qui avaient décomposé le parc roulant en seulement deux catégories : PL et VUL.

Amato *et al.* (2011) ont quantifié la composition chimique des poussières (PM₁₀) déposées sur des voies dans trois villes européennes (Zürich, Barcelone et Gérone) ; nous utilisons ici leurs résultats obtenus pour Zürich. En combinant les FE donnés ci-dessus pour les PM₁₀ et la composition chimique des PM₁₀ déposées sur une voie, on peut obtenir des FE spécifiques à plusieurs polluants métalliques présents dans ces PM₁₀ remises en suspension. On utilise la composition du parc roulant des scénarios urbains (80% VL, 17% VUL et 3% PL), routiers et autoroutiers (80% VL, 10% VUL et 10% PL) en faisant l'hypothèse que les FE des VUL sont applicables aux VL. Par

ailleurs, Spengler *et al.* (2011) ont mesuré des concentrations de métaux à un pont frontalier entre le Canada et les Etats-Unis (Buffalo Peace Bridge, New York) qui étaient deux fois plus élevées que les concentrations de fond pour l'aluminium, le calcium, le fer, le cuivre et l'antimoine. Cependant, ces données ne permettent pas d'estimer de FE.

La confrontation de données d'émissions calculées pour représenter les émissions issues de la remise en suspension des particules métalliques avec celles issues de l'outil CopCETE pour caractériser les émissions à l'échappement et liés aux équipements automobiles montre que ces données sont différentes de quelques ordres de grandeur (1 à 3) sauf pour le cadmium. Les émissions estimées pour la remise en suspension sont plus élevées. Cette source d'émission particulière n'est pas prise en compte actuellement dans les modèles pour caractériser les émissions d'une infrastructure routière.

Ces résultats soulignent l'importance de mieux appréhender les émissions particulières issues de la remise en suspension afin d'intégrer l'ensemble des sources d'émissions en lien avec des infrastructures routières. Cependant, le nombre limité d'études sur ce sujet et, par conséquent les grandes incertitudes associées à cette source d'émission, ne nous ont pas permis de prendre en compte cette catégorie d'émissions dans notre étude.

5.2.2.3.4 Facteurs d'émission liée à l'utilisation de fondants routiers

La resuspension par le trafic de sels de fondants routiers qui contiennent des polluants identifiés avec des VTR doit être pris en compte pour les infrastructures routières susceptibles de faire l'objet d'opération de salage lors d'épisodes de neige ou de verglas. La quantité totale de fondants routiers utilisée en France varie entre 200 000 et 2 000 000 tonnes par an avec une valeur moyenne de 750 000 tonnes/an (Sétra, 2011). Le réseau routier français représente environ 1 000 000 km (Sétra, 2011) ; par conséquent, on estime une utilisation moyennée de fondants routiers à 0,75 tonne/(km-an).

La teneur des fondants routiers en polluants métalliques est réglementée (Afnor, 2011). Il s'agit de teneurs maximales autorisées (en mg/litre de fondant). La masse volumique d'une saumure de fondant routier est d'environ 1,2 g.cm⁻³ (MEDDTL, 2012).

La fraction des particules présentes sur une voie qui est projetée lors du passage des véhicules a été estimée pour différents sites. Legret (2001) a estimé des fractions allant de 0,33 à 0,70 pour une autoroute (A11) et une route nationale (N12). Blok (2005) a estimé que seulement un tiers (0,33) des particules présentes sur la route était remis en suspension dans l'air. Une fraction de 0,5 est utilisée dans nos calculs en accord avec les résultats présentés par Legret (2001).

Afin de calculer un facteur d'émission (FE) en g/(véhicule-km), il est nécessaire d'estimer le nombre de véhicules qui remettent en suspension ces particules de fondant. L'hypothèse faite pour les scénarios est de 50 000 véhicules/jour. Si les fondants routiers peuvent être utilisés plusieurs jours par an sur une même route, ils ne sont pas utilisés uniformément sur le réseau routier national. On fait donc l'hypothèse majorante de 50 000 véhicules, ce qui permet de compenser l'hypothèse minorante d'une répartition uniforme sur le réseau national.

La confrontation de données d'émissions calculées en lien avec l'utilisation de fondants routiers avec celles issues de l'outil CopCETE pour caractériser les émissions à l'échappement et liés aux équipements automobiles montre que ces données sont du même ordre de grandeur à l'exception de celles pour l'arsenic pour lequel les émissions estimées pour l'usage de fondants routiers sont plus élevées de deux ordres de grandeur.

Cette approche simplifiée pour l'appréciation des émissions en lien avec l'utilisation des fondants routiers souligne l'importance que peut représenter cette source dans les émissions particulières métalliques. Le groupe de travail recommande que cette problématique soit prise en compte dans les études d'impact réalisées pour les projets routiers avec des données locales représentant l'usage réel des fondants routiers.

5.2.2.4 Synthèse des données d'émission de polluants

Les données d'émission collectées dans le cadre de ces travaux d'expertise montrent que ce domaine fait l'objet de développements permanents que ce soit au niveau des outils de calcul des facteurs d'émission ou de la recherche (essai en banc ou mesure *in situ*) qui sont en évolution constante. L'évolution des connaissances depuis 2004 se caractérise par les points suivants :

- travaux d'amélioration de la description du parc automobile français, décrivant notamment la structure du parc en circulation jusqu'en 2030, déclinée par grand type de réseau (urbain / rural / autoroute).
- réalisation de nouvelles mesures d'émissions de polluants sur banc d'essai, dans le cadre de projets de recherche et groupes de travail européens, notamment sur les véhicules récents, les poids-lourds et 2-roues, avec une focalisation plus forte sur les polluants non réglementés, les particules caractérisées en tailles et composition chimiques, etc.
- intégration dans les modèles de calcul des nouvelles données d'émission (mesurées ou dérivées de la littérature) pour certaines catégories de véhicules (poids-lourds, autobus) en fonction des technologies actuelles et futures (réglementation EURO 5 et EURO 6) et des carburants. Il faut noter que les facteurs d'émission intégrés dans les outils ne bénéficient pas du même niveau de précision. Les polluants principaux (CO, NO_x, PM, COV...) ont des données établies en fonction de la vitesse pour chaque sous-catégorie de véhicule alors que pour d'autres, comme les HAP et dioxines-furanes les facteurs d'émission ne sont connus que sur certaines plages de vitesse (urbain, rural, autoroute) ou par grande catégorie de véhicules (VP, VUL, PL) sans distinction sur les catégories de cylindrée ou de technologie etc.
- réalisation de mesures d'émissions en proximité de trafic routier permettant d'enrichir les connaissances sur les émissions hors échappement (usure, remise en suspension) et celles dues aux infrastructures routières.
- éléments nouveaux sur l'importance des émissions de particules remises en suspension par le trafic, et la nécessité de leur prise en compte pour évaluer les concentrations de PM₁₀ (émission équivalente à celles émissions directes de particules à l'échappement). Des émissions ont été quantifiées à partir d'hypothèses explicitées dans le chapitre 5.2.2.3.3 pour les comparer à celles issues de l'échappement.
- éléments nouveaux sur l'impact de l'utilisation de fondants routiers sur les émissions de certains éléments métalliques.

Pour la hiérarchisation des polluants, le groupe de travail a décidé de prendre en compte les données d'émissions suivantes par ordre décroissant de priorité si plusieurs sources de données étaient disponibles pour un même polluant :

- données de FE calculées à partir de l'outil CopCETE
- données de FE issues d'un tableur spécifique établi à partir des données de la méthode COPERT IV
- données de FE issues de la littérature

Le groupe de travail a fait le choix de ne pas additionner les facteurs d'émissions calculés pour les phénomènes de remise en suspension des particules déposées au sol et de sels de fondants routiers (5.2.2.3.3 et 5.2.2.3.4) car les données utilisées pour ces calculs sont limitées et reposent sur des hypothèses générales. L'importance de ces sources d'émissions a été soulignée par la confrontation de ces données avec celles calculées par CopCETE.

Sur les 114 polluants disposant d'une VTR pour au moins une voie et durée d'exposition considérée, des données d'émission ont été documentées pour 57 polluants ou familles de polluants à l'aide de l'outil CopCETE et pour 13 polluants par la littérature. Ces données sont

synthétisées dans l'annexe 15. Trois typologies de voiries et de conditions de circulation différentes ont été proposées à la fois pour l'exposition aiguë et chronique ainsi que 2 horizons de calculs (2015 et 2030). Donc 6 données d'émissions sont disponibles pour une substance, qui elle-même peut avoir une valeur de référence associée à un effet à seuil et une autre pour un effet sans seuil pour une même voie d'exposition chronique.

Afin de comparer les 6 scénarios retenus (urbain 2015, urbain 2030, autoroute 2015, autoroute 2030, nationale 2015 et nationale 2030) pour le calcul de hiérarchisation, il a été réalisé une analyse statistique à partir du test de Friedman. Ce test permet de comparer plusieurs échantillons non indépendants et non paramétriques. Un calcul de rang est réalisé à partir des données de hiérarchisation et décrit la similarité ou la différence des échantillons testés.

Les résultats du test de Friedman sont détaillés dans l'Annexe 19. Il ressort pour chacun des calculs de hiérarchisation réalisés à partir des 6 scénarios d'émission les éléments suivants :

- Pour l'exposition orale, les échantillons basés sur les 6 scénarios sont similaires ($p = 0,352 > \text{seuil } \alpha : 0,05$).
- Pour l'exposition respiratoire aiguë, les échantillons basés sur les 6 scénarios sont différents ($p < 0,0001$). Un test bilatéral complémentaire basé sur des comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Nemenyi a été réalisé. Celui-ci montre que 3 groupes A, B, C apparaissent pour ces 6 échantillons. Les 3 scénarios à l'horizon 2015 ne sont pas différents et constituent un premier groupe. Les scénarios qui ressortent sont le **scénario « Urbain 2030 »** et le **scénario « Autoroute 2015 »** ;
- Pour l'exposition respiratoire chronique, les échantillons basés sur les 6 scénarios sont aussi différents ($p < 0,0001$). Selon le test bilatéral, 2 groupes A, B apparaissent pour ces 6 échantillons. Les 3 scénarios à l'horizon 2015 ne sont pas différents entre eux ainsi que les 3 scénarios à l'horizon 2030. Les scénarios qui ressortent sont le **scénario « Urbain 2015 »**, le **scénario « Nationale 2015 »**, le **scénario « Urbain 2030 »**; le **scénario « Autoroute 2030 »** alors que le scénario « Nationale 2030 » n'est lui pas différent des 2 groupes.

5.2.3 Niveaux de concentrations à proximité d'infrastructures routières

5.2.3.1 Une surveillance de la qualité de l'air encadrée par la directive européenne 2008/50/CE

La directive européenne 2008/50/CE du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe définit :

- Les modalités d'évaluation de la qualité de l'air ambiant (système, critère, point de prélèvement, méthodes de référence) ;
- Les modalités de gestion de la qualité de l'air ambiant (valeurs limites et seuils d'alerte, niveaux critiques, valeurs cibles et valeurs limites, exigences dans les zone de dépassements, mesures, report des délais, plans relatifs à la qualité de l'air, plans d'action à court terme, pollution transfrontalière) ;
- Les modalités d'information (information du public, transmission des informations et des rapports).

Cette directive concerne les particules (PM₁₀ et PM_{2,5}), les NO_x, le dioxyde de soufre (SO₂), l'ozone (O₃), le monoxyde de carbone (CO), le benzène et le plomb (Pb). Elle est complétée par la directive 2004/107/CE du 15 décembre 2004 concernant l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le mercure (Hg), le nickel (Ni) et les HAP dans l'air ambiant.

Elle induit en particulier un rééquilibrage du nombre de sites de mesures fixes en proximité trafic par rapport à ceux de fond et l'ajout d'une surveillance réglementaire des particules PM_{2,5}.

La directive unifiée 2008/50/CE précise également pour les polluants réglementés les modalités de surveillance (mesure/modélisation/évaluation objective) en fonction des niveaux constatés.

Trois niveaux sont définis :

- Valeur Limite (VL) : niveau fixé sur la base de connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble,
- Seuil d'évaluation supérieur (SES) : correspondant à un pourcentage variable X (suivant le polluant) de la valeur limite,
- Seuil d'évaluation inférieur (SEI) : correspondant à un pourcentage variable $Y < X$ (suivant le polluant) de la valeur limite.

Les modalités de surveillance de la qualité de l'air sont fonction des niveaux de concentrations en polluants constatés par rapport à ces trois niveaux. Elles peuvent mobiliser des mesures fixes, des outils de modélisation, des mesures indicatives :

<i>Niveau N</i>	<i>Méthode de caractérisation de la qualité de l'air ambiant</i>
<i>N > VL</i>	<i>Mesures fixes</i>
<i>VL > N > SES</i>	<i>Mesures fixes</i>
<i>SES > N > SEI</i>	<i>Combinaison mesures / modélisation et/ou mesures indicatives</i>
<i>N < SEI</i>	<i>Modélisation et/ou estimation objective</i>

Le nombre minimal de points de prélèvement dépend de la taille de la zone surveillée :

<i>Population de la zone (en milliers d'habitants)</i>	<i>Si les concentrations maximales dépassent le SES</i>		<i>Si les concentrations maximales sont comprises entre les SEI et SES</i>	
	<i>Polluants hors PM</i>	<i>PM10 + PM2,5</i>	<i>Polluants hors PM</i>	<i>PM10 + PM2,5</i>
<i>0-249</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
<i>250-499</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
<i>500-749</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
<i>750-999</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
<i>1 000-1 499</i>	<i>4</i>	<i>6</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>1 500-1 999</i>	<i>5</i>	<i>7</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>2 000-2 749</i>	<i>6</i>	<i>8</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<i>2 750-3 749</i>	<i>7</i>	<i>10</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<i>3 750-4 749</i>	<i>8</i>	<i>11</i>	<i>3</i>	<i>6</i>
<i>4 750-5 999</i>	<i>9</i>	<i>13</i>	<i>4</i>	<i>6</i>
<i>≥ 6 000</i>	<i>10</i>	<i>15</i>	<i>4</i>	<i>7</i>

Les précisions suivantes sont apportées par la directive :

- Pour le dioxyde d'azote, les particules, le benzène et le monoxyde de carbone : le nombre de points de prélèvement doit comprendre au moins une station surveillant la pollution de fond urbaine et une station consacrée à la pollution due à la circulation à condition que cela n'augmente pas le nombre de points de prélèvement. Pour ces polluants, dans un Etat membre, le nombre total de stations consacrées à la pollution de fond urbaine ne doit pas être plus de deux fois supérieur ou inférieur au nombre de stations consacrées à la pollution due à la circulation.
- Lorsque les particules PM_{2,5} et PM₁₀ sont mesurées dans la même station de surveillance, on compte deux points de prélèvement différents. Le nombre total de points de prélèvement pour les particules PM_{2,5} dans un État membre ne doit pas être plus de deux fois supérieur à celui pour les particules PM₁₀, et le nombre de points de prélèvement pour

les particules PM_{2,5} consacrés à la pollution de fond des agglomérations et des zones urbaines doit satisfaire aux exigences ci-après : un point de prélèvement par million d'habitants pour les agglomérations et zones urbaines supplémentaires comptant plus de 100 000 habitants.

5.2.3.2 Principaux résultats de la surveillance de la qualité de l'air au regard des valeurs limites et valeurs cibles²⁶

Les concentrations sont rapportées en comparaison aux valeurs limites et valeurs cibles européennes relatives à la santé humaine.

Polluant	Valeur guide OMS	Valeur limite / valeur cible	Nombre max. de dépassements par année civile	SEI	SES
SO ₂	500 µg.m ⁻³ sur 10 min	350 µg.m ⁻³ sur 1 h	24		
	20 µg.m ⁻³ sur 1 jour	125 µg.m ⁻³ sur 1 jour	3	50	75
NO ₂	200 µg.m ⁻³ sur 1 h	200 µg.m ⁻³ sur 1 h	18	100	140
	40 µg.m ⁻³ sur 1 an	40 µg.m ⁻³ sur 1 an		26	32
Benzène	1,7 µg.m ⁻³ sur 1 an	5 µg.m ⁻³ sur 1 an		2	3,5
CO	10 mg.m ⁻³ sur 8h	10 mg.m ⁻³ sur 8h		5	7
Plomb	0,5 µg.m ⁻³ sur 1 an	0,5 µg.m ⁻³ sur 1 an		0,25	0,35
PM ₁₀	50 µg.m ⁻³ sur 1 jour	50 µg.m ⁻³ sur 1 jour	35	25	35
	20 µg.m ⁻³ sur 1 an	40 µg.m ⁻³ sur 1 an		20	28
PM _{2,5}	10 µg.m ⁻³ sur 1 an	25 µg.m ⁻³ sur 1 an (2015)		12	17
	10 µg.m ⁻³ sur 1 an	20 µg.m ⁻³ sur 1 an (2020)		12	17
Arsenic		6 ng.m ⁻³ sur 1 an		2,4	3,6
Cadmium		5 ng.m ⁻³ sur 1 an		2	3
Nickel		20 ng.m ⁻³ sur 1 an		10	14
B(a)P		1 ng.m ⁻³ sur 1 an		0,4	0,6

Les données relatives aux particules et au NO₂ ont été présentées dans le chapitre 4, elles ne seront pas développées dans cette partie.

Dioxyde de soufre

Les concentrations en dioxyde de soufre sont en forte réduction depuis une dizaine d'années, en lien avec la limitation de l'utilisation de combustibles soufrés dans l'industrie et la baisse du taux maximal de soufre autorisé dans les carburants routiers.

Les moyennes des concentrations annuelles sur les stations industrielles et urbaines en France sont respectivement de 5 et 2 µg.m⁻³, très largement en deçà de l'objectif français de qualité de l'air de 50 µg.m⁻³ en moyenne annuelle.

A noter qu'aucune station de mesure ne dépasse les valeurs limites journalière et horaire. Il subsiste toutefois quelques dépassements ponctuels de seuil d'information (300 µg.m⁻³ en

²⁶ Extrait et interprété du bilan 2010 de la qualité de l'air du MEDDTL pour tous les polluants à l'exception des métaux lourds et du benzo(a)pyrène

Interprété à partir de la base de données : AirBase_FR_v5 récupérée sur le site de l'agence européenne de l'environnement <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/airbase-the-european-air-quality-database-3>

moyenne horaire) voire du seuil d'alerte ($500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire et sur 3 heures consécutives).

Benzène

Les niveaux de concentrations en benzène ont fortement décru depuis la fin des années 90, en lien avec la réduction forte du taux maximal de benzène (1%) autorisé dans les carburants routiers depuis le 1^{er} janvier 2000. La valeur limite de $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ est respectée sur les stations de proximité routière. L'objectif français de qualité de l'air ($2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en moyenne annuelle) peut toutefois encore être atteint.

Des dépassements de la valeur limite sont encore observés en proximité industrielle.

Monoxyde de carbone

Les niveaux de concentrations en monoxyde de carbone sont en décroissance constante entre 2000 et 2010, à des niveaux très modestes, largement en deçà de la valeur limite de $10 \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ sur 8 h. L'amélioration du parc routier constitue l'explication principale de cette évolution.

Métaux lourds

Sur les sites spécifiques de la proximité routière, les valeurs cibles pour l'arsenic, le cadmium, le nickel et le plomb sont très largement respectées. Certains sites de proximité industrielle peuvent être soumis à des niveaux de concentrations plus élevés mais généralement sans atteindre les valeurs cibles européennes. La part du trafic routier dans les émissions de métaux lourds est très faible.

Benzo(a)pyrène

Les niveaux de concentrations en benzo(a)pyrène respectent la valeur cible européenne de $1 \text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ sur les préleveurs installés en proximité routière. Des dépassements ponctuels peuvent être observés en proximité de certaines industries très spécifiquement émettrices d'HAP.

Les émissions de HAP (et donc de B(a)P) proviennent très majoritairement de la combustion dans les installations de chauffage, en particulier utilisant du bois. Le transport routier constitue le second secteur émetteur.

5.2.3.3 Concentrations dans l'air à proximité d'infrastructures routières

Les données de concentrations ont été recherchées pour chacun des polluants réglementés, par typologie (trafic, industriel, fond urbain, fond périurbain, fond rural), dans la base de données AIRBASE de l'agence européenne de l'environnement²⁷. Les indicateurs de pollution réglementés sont ceux pour lesquels le maximum d'informations est disponible. En 2006, un rapport du CERTU et du Sétra avait été publié présentant les fourchettes de concentrations pour les 16 polluants pris en compte dans la circulaire du 25 février 2005.

5.2.3.3.1 Exposition aiguë

Des données de concentrations horaires et journalières peuvent être établies à partir de la base de données AIRBASE pour la période 2007 à 2009 pour le CO et le SO₂. Les données ont été complétées par les niveaux de concentrations des stations de mesure alsaciennes en site trafic pour les BTEX sur la période 2007 – 2011.

²⁷Base AirBase_FR_v5 : <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/airbase-the-european-air-quality-database-3>

Le groupe de travail a proposé la prise en compte du percentile 98 des concentrations journalières.

Tableau III : Percentile 98 des concentrations journalières

composé	Unité	TRAFIC	PERIURBAIN
Données françaises - Base AIRBASE (2007-2009)			
CO	mg.m ⁻³	1,1	
SO ₂	µg.m ⁻³	12,9	
Données alsaciennes – ASPA (2007-2011)			
Benzène	µg.m ⁻³	5,2	3,2
Toluène	µg.m ⁻³	9,5	4,1
Ethylbenzène	µg.m ⁻³	2,6	1,0
m,p-xylène	µg.m ⁻³	9,5	2,9
o-xylène	µg.m ⁻³	4,3	1,2

5.2.3.3.2 Exposition chronique

Différentes données de concentrations peuvent être établies à partir de la base de données AIRBASE pour la période 2007 à 2009 pour l'exposition chronique (moyenne de toutes les moyennes annuelles, moyenne annuelle la plus élevée et celles la plus faible ainsi que les percentiles 25, 50, 75). Le nombre de sites de mesure concerné par les indicateurs transmis est systématiquement fourni et les incertitudes pour les polluants pour lesquels le calcul est réalisé (NO₂, PM₁₀) sont également fournies. L'ensemble de ces données est détaillé dans l'Annexe 17. Concernant les métaux lourds et le benzo(a)pyrène, les données ne sont disponibles que pour l'année 2009. Concernant les autres indicateurs de pollution, les années 2007 à 2009 ont été prises en compte afin de disposer de suffisamment de données et de s'affranchir d'année météorologique spécifique. Les paramètres statistiques tels que l'écart type peuvent être importants, en particulier concernant la proximité industrielle très spécifique du type d'installation surveillée mais également au regard des différences typologiques générales entre certaines agglomérations (par exemple entre l'agglomération parisienne et une agglomération située dans un département ou région d'Outre-mer (DROM)).

Le groupe de travail s'est orienté sur l'utilisation du **percentile 75 des sites trafic** en approche majorante, permettant d'éviter de conserver des sites trop particuliers (par exemple soumis à influence industrielle). Les concentrations retenues sont présentées dans le Tableau IV.

Tableau IV : Percentile 75 des concentrations françaises moyennées des polluants réglementés sur l'année pour la période 2007-2009

composé	Unité	TRAFIC	INDUSTRIEL	URBAIN	PERIURBAIN	RURAL
PM ₁₀	µg.m ⁻³	35,1	28,1	27,6	27,9	25,0
NO ₂	µg.m ⁻³	55,7	22,5	29,0	26,7	21,3
Benzène	µg.m ⁻³	1,75	3,18	1,22	1,00	
Benzo(a)pyrène	ng.m ⁻³	0,32	0,96	0,36	0,35	0,31
Pb	ng.m ⁻³	7,51	28,70	6,50	7,20	10,71
As	ng.m ⁻³	0,40	0,50	0,40	0,50	0,53
Cd	ng.m ⁻³	0,15	0,28	0,20	0,20	0,24
Ni	ng.m ⁻³	2,64	5,60	2,60	4,27	1,39

Les résultats permettent de dresser quelques constats :

- Concernant les métaux lourds et le benzo(a)pyrène : il ne semble pas y avoir un signal particulier relatif à la proximité routière. Les concentrations moyennes apparaissent comme

étant les plus élevées en proximité industrielle (avec une variabilité importante). A noter toutefois l'exception du plomb avec des niveaux de proximité trafic légèrement supérieurs aux niveaux de fond urbain. Par ailleurs, pour les typologies rurales et périurbaines, il est possible pour cet indicateur qu'elles soient dans certains cas influencées par des sources industrielles.

- Concernant le benzène, le dioxyde d'azote et les particules : les résultats en proximité trafic sont supérieurs à ceux rencontrés en situation de fond (urbain, périurbain et rural).

L'analyse précédente a été complétée par des données issues de l'étude du CERTU et du Sétra concernant les polluants pris en compte dans la circulaire air et santé de 2005 (Tableau V) (CERTU, 2006). Cette étude a porté sur la comparaison des concentrations de polluants sur des sites trafic au regard des sites de fond urbain notamment, ceci à l'échelle du territoire national. Les concentrations relevées s'appuient pour la plupart sur des résultats de stations fixes ou de campagnes de mesures ponctuelles (AASQA ou autres...). Ces valeurs datent de 2002 à 2005 et sont donc relativement anciennes.

Les constats relevés précédemment en ce qui concerne les polluants réglementés sont confortés. Pour les polluants non réglementés considérés dans la circulaire air et santé de 2005, il n'est pas mis en évidence de sur-concentration notable sur les sites trafic sur les données relevées dans l'étude, pour la période 2002-2005. En ce qui concerne le mercure, l'absence de mesures disponibles n'a pas permis de conclure.

Tableau V : Concentrations françaises moyennées des polluants de la circulaire de 2005 sur sites trafic et fond urbain de 2002 à 2005

composé	Unité	SITES TRAFIC	SITES FOND URBAIN
Acroléine	µg/m ³	Pas de données	[0,1-0,2] site périurbain
Formaldéhyde	µg/m ³	[2-3]	[1-3]
Acétaldéhyde	µg/m ³	[1-1,5]	[0,7-2]
Benzène	µg/m ³	[1,5-4]	[1-2,2]
Benzo(a)pyrène	ng/m ³	[0,2-1,1]	[0,2-1,3]
1,3-butadiène	ng/m ³	[0,05-0,6]	Pas de données
Arsenic	ng/m ³	[0,5-1,5]	[0,4-0,9]
Cadmium	ng/m ³	[0,1-0,8]	[0,2-0,6]
Chrome	ng/m ³	[6,5-8]	Autour de 6
Mercure	ng/m ³	Pas de données	Pas de données
Nickel	ng/m ³	[1,6-8,0]	[2,2-6,0]
Plomb	ng/m ³	[17-31]	[16-21]

5.2.3.4 Observations de dépôts atmosphériques de métaux en bordure de route et en zone urbaine

Plusieurs études ont quantifié expérimentalement les dépôts de métaux en bordure de route ou d'autoroute, ainsi qu'en zone urbaine. Une brève synthèse de ces études est présentée ci-dessous.

Peu de données sont disponibles pour documenter les dépôts atmosphériques à proximité d'infrastructures routières. Elles concernent 6 éléments métalliques, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn.

Les travaux de thèse de Promeyrat (2001) ont permis de quantifier les dépôts totaux (c'est-à-dire secs et humides) de trois métaux (Pb, Cd et Zn) en bordure de l'autoroute A31 près de Metz. Le trafic moyen sur cette autoroute est de l'ordre de 60.000 véhicules par jour. Ces mesures ont été effectuées des deux côtés de l'autoroute à des distances allant de 1 à 320 m. Les valeurs de dépôt décroissent rapidement avec la distance et les valeurs les plus distantes de l'autoroute peuvent être utilisées pour représenter la pollution de fond. Les résultats pour l'été 1997 ont été résumés par Viard *et al.* (2004).

Azimi *et al.* (2005) ont mesuré les dépôts totaux de quatre métaux (Cd, Cu, Pb et Zn) en zone urbaine en France. Ces mesures ne sont pas spécifiques à de grands axes routiers et, par conséquent, incluent les dépôts dus aux émissions du trafic routier mais aussi ceux dus à d'autres sources. Néanmoins, un des sites de mesures est situé à 200 m d'une autoroute et ces mesures effectuées sur une période de 6 mois (novembre 1999 à avril 2000) sont donc présentées ici. Le trafic moyen sur cette autoroute est de l'ordre de 60.000 véhicules par jour. Il convient cependant de noter que d'autres sources d'émissions de métaux sont présentes dans la région, notamment une centrale électrique à fioul (à 2 km), deux incinérateurs (à 6 km) et un aéroport (à 8 km).

Sabin *et al.* (2006) ont mesuré les dépôts secs de métaux particuliers (Cr, Cu, Ni, Pb et Zn) en bordure d'une autoroute (I-405) à Los Angeles en Californie, États-Unis à des distances allant de 10 à 450 m. Des mesures mensuelles ont été effectuées pendant une année. Le trafic sur cette autoroute est de l'ordre de 300.000 véhicules par jour. Le site placé à 150 m en amont ou celui placé à 450 m en aval peut être utilisé pour représenter la pollution de fond. Ici, la valeur la plus basse de ces deux mesures a été utilisée pour représenter la pollution de fond.

Des mesures de dépôts de plusieurs métaux (As, Ba, Cd, Cr, Hg, Ni et Pb) ont été effectuées en bordure de la route nationale RN164 à plusieurs distances allant de 6 à 155 m. Cependant, plusieurs des échantillons ont été contaminés par des corps étrangers et seules les mesures effectuées en quatre sites (sur sept) sont considérées comme valides. Il est difficile d'évaluer la contribution des émissions de la route aux dépôts car il manque des mesures à un site de fond. En effet, le site situé le plus loin à l'ouest de la route (à 155 m) est à égale distance d'une autre route située au nord de ce site. Par conséquent, ces données ne sont pas utilisées ici.

Des mesures de dépôts totaux de trois métaux (Cu, Pb et Zn) ont été effectuées à Sydney en Australie, pendant une année en plusieurs sites, certains situés près de routes à fort trafic et d'autres en situation de fond (Davis and Birch, 2011). Ces dépôts sont corrélés avec le débit du trafic (coefficients de détermination > 0,95). Les résultats présentés ci-dessous correspondent à une route avec un trafic journalier de 85.000 véhicules et corrigés avec les valeurs de fond.

Des mesures de dépôts totaux de quatre métaux (Cu, Zn, Cd et Pb) ont été effectuées dans une ville, Varanasi City, en Inde, pendant une année (Sharma *et al.*, 2008). Ces mesures ont été effectuées à 18 endroits dans la ville. Aucune information n'est disponible sur les débits de trafic. Les résultats donnés ci-dessous correspondent à la différence entre les valeurs maximales et minimales de dépôt.

Le Tableau VI résume les mesures obtenues à partir des deux premières études effectuées en France, ainsi que celles obtenues en Californie, en Australie et en Inde. Pour les mesures disponibles dans plusieurs études, les résultats diffèrent avec des facteurs allant de 6 à 31. Les résultats les plus cohérents sont obtenus pour le cadmium avec un facteur 6 entre la valeur obtenue en Inde et celles obtenues en France. Les valeurs de dépôt de cuivre varient d'un facteur 17 ; cependant, les valeurs obtenues en Inde, en Californie et en France sont similaires (moins d'un facteur 3 de différence) et c'est la valeur obtenue en Australie qui est très différente, étant plus élevée d'environ un ordre de grandeur. La variabilité pour le plomb est d'environ un facteur 25 entre les cinq études et d'un ordre de grandeur entre les deux études réalisées en France.

Tableau VI : Résumé des mesures de dépôts de métaux en bordure d'autoroute et en zone urbaine ($\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{-jour})$)*

Métal	A31, Metz	A86, Créteil	I-405, Los Angeles, Etats-Unis	Sydney, Australie	Varanasi, Inde
Cd	0,73	0,93	--	--	4,7
Cr	--	--	2,1	--	--
Cu	--	27	37	235	14
Ni	--	--	1,9	--	--
Pb	94	26	17	99	3,7
Zn	360	41	107	1260	183

* La valeur de fond a été soustraite de la valeur maximale mesurée en bordure de route pour les mesures en bordure de l'A31 et de l'I-405, ainsi que pour les mesures urbaines à Sydney et à Varanasi.

Dans le cadre de la hiérarchisation des polluants relative aux études d'impact des infrastructures routières, il a été décidé d'utiliser la valeur maximale en privilégiant les données françaises et américaines obtenues en bordure d'autoroutes (A31, A86 et I-405), considérant que les données obtenues en zone urbaine étaient trop sensibles aux concentrations de fond.

Métal	Dépôt maximal en bordure d'autoroute ($\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{-jour})$)
Cd	0,93
Cr	2,1
Cu	37
Ni	1,9
Pb	94
Zn	360

6 Choix des polluants

6.1 Résultats de la hiérarchisation

Trois calculs de hiérarchisation ont été réalisés selon la méthode retenue par le groupe de travail. Seuls les polluants présentant à la fois des valeurs pour les paramètres des équations décrites dans le chapitre 5.1 sont classées. La hiérarchisation dépend de la valeur de l'indice de hiérarchisation. Les polluants ont été classés de façon décroissante.

Le nombre de polluants classés pour les différentes voies et durées d'exposition est de :

- 17 polluants pour l'exposition par voie respiratoire aiguë ;
- 50 polluants pour l'exposition par voie respiratoire chronique dont 8 ayant une valeur de référence pour un effet à seuil et un effet sans seuil ;
- 42 polluants pour l'exposition orale dont 8 ayant une valeur de référence pour un effet à seuil et un effet sans seuil.

Les résultats sont présentés en détail dans l'annexe 18 sous la forme de tableaux intégrant le rang de classement et l'indice de hiérarchisation pour chaque substance et pour chaque scénario retenu. Ces tableaux sont complétés par une colonne présentant un « ratio de risque » qui a été calculé pour aider au choix des polluants et une dernière colonne avec la moyenne arithmétique des rangs (c'est-à-dire la somme des rangs des six scénarios divisée par 6).

Le calcul d'un ratio de risque en proximité de voie routière a été réalisé pour les polluants disposant de données de concentrations dans l'air et de dépôts recensés dans le chapitre 5.2.3 ; celui-ci correspondant au :

- rapport entre la concentration dans l'air et la valeur de référence pour la voie respiratoire ;
- rapport entre la dose d'exposition établie pour un scénario « consommation de plantes-feuilles » et la valeur de référence pour la voie orale. La méthode décrite dans le chapitre 4.2.1 a été utilisée pour estimer la dose d'exposition pour un scénario « consommation de plante-feuille » en lien avec la donnée de dépôts. Les hypothèses sont donc l'accumulation des dépôts dans une zone de 20 cm de profondeur et la bioconcentration dans des légumes-feuilles pendant une période de 70 ans. Le dépôt mesuré a été majoré de 20% pour tenir compte des dépôts humides dans le cas où seuls les dépôts secs étaient mesurés (c'est-à-dire près de l'autoroute I-405 à Los Angeles). La consommation de légume feuille est supposée être de 52 g/jour (EPA, 2005) et la personne exposée d'un poids de 70 kg.

Le choix des concentrations pour le calcul du ratio de risque a été réalisé avec une approche majorante sur la base des données disponibles. Les données de concentrations utilisées sont présentées en détail dans les chapitres 5.2.3.3 et 5.2.3.4. Il s'agit de :

- Concentration dans l'air :
 - Exposition aiguë : Percentile 98 des concentrations journalières pour les polluants réglementés basé sur les données françaises (2007-2009) extraites de la base de données de l'AEE (AirBase) pour les polluants réglementés
 - Exposition chronique :
 - Percentile 75 des concentrations moyennées – site trafic pour les polluants réglementés (exclusion supposée de sites trop particuliers par exemple soumis à influence industrielle) ;
 - Fourchette haute du rapport CERTU 2006 pour les autres polluants.

- Dépôts atmosphériques :
 - Concentrations maximales des études de dépôts de métaux en bordure d'autoroute (2 études françaises & 1 étrangère).

6.1.1 Classement pour l'exposition respiratoire chronique

Sur les 58 lignes de polluants hiérarchisés pour l'exposition respiratoire chronique, un ratio de risque a pu être calculé pour 17 d'entre elles.

Le test de Friedman, détaillé dans l'annexe 19, montre pour l'exposition respiratoire chronique que les 6 scénarios ne sont pas similaires. 2 groupes apparaissent (A et B) pour ces 6 scénarios (ou échantillons) d'après un test bilatéral suivant la procédure de Nemenyi. Les scénarios « Urbain 2030 » et « Autoroute 2030 » sont différents des scénarios « Urbain 2015 » et « Nationale 2015 » ; les scénarios « Nationale 2030 » et « Autoroute 2015 » sont communs aux deux groupes.

Le groupe de travail a retenu 3 scénarios pour le choix des polluants : « Urbain 2015 » (groupe B), « Urbain 2030 » (groupe A) et « Autoroute 2015 » (groupes A et B). Une partie du classement des polluants pour l'exposition respiratoire chronique est présentée en se limitant aux scénarios retenus dans le Tableau VII.

Sur les 7 premiers polluants, les ratios de risque disponibles sont décroissants allant de 120 à 4,1. Puis tous les ratios de risque sont inférieurs à 1 à l'exception de celui de l'arsenic qui présente un ratio de risque de 1,7 avec une somme des rangs égale à 15. Pour la sélection des polluants, le groupe de travail a posé l'hypothèse suivante :

- les polluants ayant un indice de hiérarchisation de l'ordre de 10^{-4} ou plus pourraient être associés à un ratio de risque supérieur à 1 sur la base du cas particulier de l'arsenic.

La valeur du ratio de risque de ce composé a été croisée avec ses indices de hiérarchisation. En considérant que le ratio de risque de 1,7 est associé à un indice de hiérarchisation moyen de $2,5 \cdot 10^{-4}$; les polluants présentant un indice de hiérarchisation pour au moins un scénario de l'ordre de 10^{-4} sont retenus.

Tableau VII : Extrait du tableau de classement issu des calculs de hiérarchisation pour la voie respiratoire chronique (pour les polluants ayant un effet avec seuil (as) et un effet sans seuil (ss), l'effet correspondant au classement est indiqué)

SUBSTANCE			CLASSEMENT			INDICE DE HIERARCHISATION			RATIO DE RISQUE
NOM	Formule	N°CAS	Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Cair/VTR
chrome	Cr	7440-47-3	1	1	1	5,7E-01	5,7E-01	5,7E-01	1,2E+03
1,3-butadiène (ss)	C ₄ H ₆	106-99-0	2	3	3	1,7E-01	6,1E-02	5,8E-02	1,0E+02
benzo[a]pyrène	C ₂₀ H ₁₂	50-32-8	3	2	2	1,2E-01	1,3E-01	1,3E-01	9,2E+01
acroléine	C ₃ H ₄ O	107-02-8	4	4	4	6,6E-02	4,9E-02	2,1E-02	1,0E+01
benzène (ss)	C ₆ H ₆	71-43-2	5	5	5	2,1E-02	5,1E-03	5,1E-03	8,8E+00
éthylbenzène (ss)	C ₈ H ₁₀	100-41-4	6	8	6	7,4E-03	1,5E-03	3,0E-03	
acétaldéhyde (ss)	C ₂ H ₄ O	75-07-0	7	6	7	6,9E-03	4,8E-03	2,3E-03	4,1E+00
indéno[1,2,3-cd]pyrène	C ₂₂ H ₁₂	193-39-5	8	7	8	1,6E-03	1,7E-03	1,7E-03	
dibenzo[a,l]pyrène	C ₂₄ H ₁₄	191-30-0	9	9	9	5,4E-04	5,7E-04	5,1E-04	
1,3-butadiène (as)	C ₄ H ₆	106-99-0	10	18	17	5,1E-04	1,8E-04	1,7E-04	3,0E-01
formaldéhyde	CH ₂ O	50-00-0	11	13	19	4,9E-04	3,3E-04	1,6E-04	3,0E-01
naphtalène	C ₁₀ H ₈	91-20-3	12	11	12	3,9E-04	4,1E-04	3,7E-04	
dibenzo[a,h]anthracène	C ₂₂ H ₁₄	53-70-3	13	10	10	3,9E-04	4,2E-04	4,0E-04	
nickel (ss)	Ni	7440-02-0	14	12	11	3,9E-04	3,8E-04	3,9E-04	6,1E-01
benzène (as)	C ₆ H ₆	71-43-2	15	20	22	3,4E-04	8,5E-05	8,4E-05	1,5E-01
acétaldéhyde (as)	C ₂ H ₄ O	75-07-0	16	17	21	2,8E-04	2,0E-04	9,4E-05	1,7E-01
benzo[a]anthracène	C ₁₈ H ₁₂	56-55-3	17	14	14	2,7E-04	2,9E-04	2,8E-04	
arsenic (ss)	As	7440-38-2	18	15	13	2,2E-04	2,2E-04	2,8E-04	1,7E+00
benzo[b]fluoranthène	C ₂₀ H ₁₂	205-99-2	19	16	15	1,9E-04	2,0E-04	2,2E-04	
benzo[k]fluoranthène	C ₂₀ H ₁₂	207-08-9	20	19	16	1,6E-04	1,6E-04	2,0E-04	
propionaldéhyde	C ₃ H ₆ O	123-38-6	21	21	30	1,0E-04	7,6E-05	2,7E-05	
Ammoniac	NH ₃	7664-41-7	22	30	20	9,7E-05	1,9E-05	9,9E-05	
Benzo[j]fluoranthène	C ₂₀ H ₁₂	205-82-3	23	22	18	6,7E-05	6,7E-05	1,7E-04	
chrysène	C ₁₈ H ₁₂	218-01-9	24	23	23	4,8E-05	5,1E-05	5,9E-05	
1,2,3,7,8-pentachlorodibenzo-para-dioxine	C ₁₂ H ₃ Cl ₅ O ₂	40321-76-4	25	24	25	4,7E-05	3,2E-05	4,1E-05	
2,3,4,7,8-pentachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₃ Cl ₅ O	57117-31-4	26	26	26	4,0E-05	2,9E-05	3,8E-05	
2,3,7,8-TCDD 10-6	C ₁₂ H ₄ Cl ₄ O ₂	1746-01-6	27	28	27	3,7E-05	2,6E-05	3,4E-05	
nickel (as)	Ni	7440-02-0	28	25	29	3,0E-05	2,9E-05	3,0E-05	4,6E-02
plomb (ss)	Pb	7439-92-1	29	27	31	2,6E-05	2,7E-05	2,6E-05	2,8E-02

Pour ces trois scénarios, les polluants présentant un indice de hiérarchisation égal ou supérieur à 10^{-4} sont listés dans le Tableau VIII. L'ammoniac a un indice de hiérarchisation très proche de 10^{-4} ($9,9 \times 10^{-5}$) pour le scénario « Autoroute 2015 » et est donc inclus dans la liste.

Tableau VIII : Liste de polluants pour lesquels un ratio de risque supérieur ou égal à 1 est supposé pour 3 scénarios « Urbain 2015 », « Urbain 2030 » et « Autoroute 2015 ».

Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015
chrome	chrome	chrome
1,3-butadiène	benzo[a]pyrène	benzo[a]pyrène
benzo[a]pyrène	1,3-butadiène	1,3-butadiène
acroléine	acroléine	acroléine
benzène	benzène	benzène
éthylbenzène	acétaldéhyde	éthylbenzène
acétaldéhyde	indéno[1,2,3-cd]pyrène	acétaldéhyde
indéno[1,2,3-cd]pyrène	éthylbenzène	indéno[1,2,3-cd]pyrène
dibenzo[a,l]pyrène	dibenzo[a,l]pyrène	dibenzo[a,l]pyrène
formaldéhyde	dibenzo[a,h]anthracène	dibenzo[a,h]anthracène
naphtalène	naphtalène	nickel
dibenzo[a,h]anthracène	nickel	naphtalène
nickel	formaldéhyde	arsenic
benzo[a]anthracène	benzo[a]anthracène	benzo[a]anthracène
arsenic	arsenic	benzo[b]fluoranthène
benzo[b]fluoranthène	benzo[b]fluoranthène	benzo[k]fluoranthène
benzo[k]fluoranthène	benzo[k]fluoranthène	benzo[j]fluoranthène
propionaldéhyde		formaldéhyde
		ammoniac

Cette démarche a permis de dresser une liste de 20 polluants hiérarchisés pour l'exposition respiratoire chronique dont 9 HAP. (Tableau IX).

Tableau IX : Liste de polluants retenus pour l'exposition chronique respiratoire

Choix final	
chrome	naphtalène
1,3-butadiène	dibenzo[a,h]anthracène
benzo[a]pyrène	nickel
acroléine	benzo[a]anthracène
benzène	arsenic
éthylbenzène	benzo[b]fluoranthène
acétaldéhyde	benzo[k]fluoranthène
indéno[1,2,3-cd]pyrène	propionaldéhyde
dibenzo[a,l]pyrène	benzo[j]fluoranthène
formaldéhyde	ammoniac

Des données d'émissions ont pu être calculées pour 14 HAP ayant des valeurs de références pour la voie respiratoire à partir de données de spéciation de la méthode COPERT IV. A partir de ces données, la proportion (%) de chaque polluant dans les émissions totales de leur famille a été calculée et est présentée dans le Tableau X :

Tableau X : Proportion (%) des HAP ayant des VTR par inhalation dans les émissions totales de HAP

Substance	Proportion HAP	Substance	Proportion HAP
benzo(a)pyrène	0,1	chrysène	0,4
indéno(1,2,3-cd)pyrène	0,1	naphtalène	98
benzo(k)fluoranthène	0,1	anthracène	0,2
benzo(b)fluoranthène	0,2	dibenzo(a,h)anthracène	0,03
benzo(j)fluoranthène	0,1	dibenzo(a,e)pyrène	0,001
dibenzo(a,l)pyrène	0,004	dibenzo(a,h)pyrène	0,0001
benzo(a)anthracène	0,2	dibenzo(a,i)pyrène	0,0002

Parmi ces 14 HAP, le naphtalène et l'anthracène disposent de VTR pour des effets à seuil. Les autres ont des VTR pour des effets sans seuil.

Au niveau des données toxicologiques, les HAP ont fait l'objet d'une attention particulière concernant la problématique des mélanges. Des recommandations ont été formulées dans ce domaine en développant une approche par équivalent toxique. Le principe des facteurs d'équivalence toxique (FET) est fondé sur les hypothèses selon lesquelles l'organe cible et l'activité toxique sont identiques pour chaque molécule apparentée et qu'il n'y a pas d'interaction toxicocinétique ni toxicodynamique. Par définition, la substance de référence a un facteur de toxicité FET de 1 et les autres congénères des facteurs déterminés expérimentalement ou par analogie de structure chimique. Cette substance de référence est le benzo[a]pyrène pour les HAP, qui est celle la mieux étudiée au niveau des données toxicologiques. Cette approche permet de rendre compte de la toxicité globale des mélanges de HAP qui s'exprime au niveau international en équivalent toxique (TEQ).

Les FET proposés par l'OEHHA sont présentés dans le Tableau XI.

Tableau XI : Facteur d'équivalence toxique (FET) proposé par l'OEHHA pour les HAP ayant des VTR sans seuil par inhalation

Substance	FET OEHHA	Substance	FET OEHHA
benzo(a)pyrène	1	chrysène	0,01
indéno(1,2,3-cd)pyrène	0,1	dibenzo(a,h)anthracène*	/
benzo(k)fluoranthène	0,1	dibenzo(a,e)pyrène	1
benzo(b)fluoranthène	0,1	dibenzo(a,h)pyrène	10
benzo(j)fluoranthène	0,1	dibenzo(a,i)pyrène	10
dibenzo(a,l)pyrène	10		
benzo(a)anthracène	0,1		

* un ERU spécifique est proposé pour le dibenzo(a,h)anthracène par l'OEHHA

Dans le cas de l'évaluation quantitative des risques sanitaires, des recommandations ont été formulées pour la caractérisation du risque. L'Ineris propose l'approche substance par substance pour les effets à seuil et l'approche par mélange pour les effets sans seuil. Dans ce dernier cas, la caractérisation du risque repose sur des facteurs d'équivalence toxique (FET) applicables aux HAP d'un mélange afin d'estimer les risques liés à une co-exposition à ces composés

(Ineris,2003). L'approche par équivalence toxique est une approche par défaut basée sur la notion d'additivité des doses. La concentration de chaque HAP est multipliée par son FET et les valeurs obtenues sont additionnées entre elles, correspondant au TEQ (Total toxic equivalency). Le résultat est multiplié par l'ERU calculé pour le benzo[a]pyrène.

Le calcul de hiérarchisation a été réalisé pour le mélange des 12 HAP disposant de VTR respiratoire sans seuil selon l'approche recommandée par l'INERIS en appliquant le facteur d'équivalence toxique du mélange de HAP établi par l'OEHHA sur la base du potentiel toxique du benzo[a]pyrène. Pour le benzo[a]pyrène, l'ERU retenu est celui proposé par l'OMS (OMS, 2000). Ainsi la donnée d'émission FE de chaque HAP a été couplée à son FET et les valeurs obtenues sont additionnées entre elles. Le mélange des 12 HAP se situe en 2^{ème} position après le chrome dans le classement pour la voie respiratoire chronique (Annexe 20).

6.1.2 Classement pour l'exposition respiratoire aiguë

Sur les 17 polluants hiérarchisés, un ratio de risque a pu être calculé pour 8 d'entre eux.

Le test de Friedman, détaillé dans l'annexe 18, montre pour l'exposition respiratoire aiguë que les 6 scénarios ne sont pas similaires avec 3 groupes qui ressortent (A, B et C) pour ces 6 scénarios (ou échantillons) d'après un test bilatéral suivant la procédure de Nemenyi. Les 3 scénarios à l'horizon 2015 et les 3 à l'horizon 2030 ne sont pas différents entre eux (respectivement groupe C et A). Les scénarios qui ressortent sont le scénario « Urbain 2030 » (A) et le scénario « Autoroute 2015 » (C) ;

Le groupe de travail a retenu 3 scénarios pour le choix des polluants : « Urbain 2015 » (groupe B), « Urbain 2030 » (groupe A) et « Autoroute 2015 » (groupes C). Le classement des polluants pour l'exposition respiratoire aiguë est présenté en se limitant aux scénarios retenus dans le Tableau XII.

Tableau XII : Tableau de classement issu des calculs de hiérarchisation pour la voie respiratoire aiguë.

SUBSTANCE			CLASSEMENT			INDICE DE HIERARCHISATION			RATIO DE RISQUE
NOM	Formule	N°CAS	Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Cair/VTR
benzène	C ₆ H ₆	71-43-2	1	5	1	2,6E-04	4,0E-05	2,6E-04	1,0E-03
acroléine	C ₃ H ₄ O	107-02-8	2	1	5	1,9E-04	1,4E-04	6,0E-05	
formaldéhyde	CH ₂ O	50-00-0	3	3	2	1,8E-04	9,6E-05	2,3E-04	
monoxyde de carbone	CO	630-08-0	4	4	3	1,5E-04	5,6E-05	1,8E-04	1,1E-01
dioxyde de soufre	SO ₂	7446-09-5	5	2	4	1,4E-04	1,4E-04	1,7E-04	6,5E-01
ammoniac	NH ₃	7664-41-7	6	6	6	5,7E-06	1,1E-06	5,8E-06	
toluène	C ₇ H ₈	108-88-3	7	7	7	4,0E-06	6,7E-07	4,0E-06	1,9E-03
m-xylène	C ₈ H ₁₀	108-38-3	8	11	8	4,7E-07	9,0E-08	4,8E-07	4,3E-04
p-xylène	C ₈ H ₁₀	106-42-3	8	11	8	4,7E-07	9,0E-08	4,8E-07	4,3E-04
nickel	Ni	7440-02-0	10	8	10	2,9E-07	2,9E-07	3,5E-07	
arsenic	As	7440-38-2	11	9	11	2,8E-07	2,7E-07	3,3E-07	
o-xylène	C ₈ H ₁₀	95-47-6	12	14	12	2,4E-07	3,8E-08	2,5E-07	2,0E-04
éthylbenzène	C ₈ H ₁₀	100-41-4	13	15	13	2,3E-07	3,7E-08	2,3E-07	1,2E-04
2-butanone	C ₄ H ₈ O	78-93-3	14	10	14	1,4E-07	1,4E-07	1,4E-07	
styrène	C ₈ H ₈	100-42-5	15	13	15	8,1E-08	8,7E-08	8,1E-08	
acétone	C ₃ H ₆ O	67-64-1	16	16	16	4,4E-08	2,5E-08	4,4E-08	
cuiivre	Cu	7440-50-8	17	17	17	1,9E-08	1,7E-08	2,2E-08	

L'ensemble des ratios est inférieur à 1 allant de $1,2 \cdot 10^{-4}$ à $6,5 \cdot 10^{-1}$. Par conséquent, le groupe de travail conclut qu'aucune substance n'est considérée comme problématique en lien avec une exposition aiguë à proximité d'une infrastructure routière dans l'état actuel des connaissances et qu'une EQRS n'est donc pas nécessaire pour l'exposition respiratoire aiguë. Il convient cependant de noter qu'il est recommandé que l'exposition respiratoire aiguë au NO_2 et aux PM soit prise en compte dans une étude d'impact (voir chapitre 4).

6.1.3 Classement pour l'exposition orale chronique

Sur les 50 lignes de polluants hiérarchisés pour la voie orale, des ratios de risque ont pu être calculés uniquement pour un nombre limité d'éléments métalliques. Les données de dépôts ont été utilisées pour calculer une concentration dans les plantes-feuilles. Puis, un calcul d'exposition a été réalisé en prenant en compte une quantité ingérée et le poids d'un adulte. Ce calcul ne prend en compte que l'exposition à des plantes-feuilles, qui n'est pas la seule source d'exposition. La documentation de la part de l'exposition par ingestion de plante-feuille dans l'exposition totale à partir de résultats d'étude d'évaluation de risques pour un projet d'infrastructure routière montre que le calcul de ratio de risque proposé dans ces travaux couvre les différents médias d'exposition.

Le test de Friedman, détaillé dans l'annexe 19, montre pour l'exposition orale, que les échantillons basés sur les 6 scénarios sont similaires ($p = 0,352 > \text{seuil } \alpha : 0,05$).

Le groupe de travail s'est limité à 1 seul scénario pour le choix des polluants. Une partie du classement des polluants pour l'exposition orale chronique est présentée en se limitant au scénario « Urbain 2015 » retenu dans le Tableau XIII.

Tableau XIII : Extrait du tableau de classement issu des calculs de hiérarchisation pour la voie orale chronique (pour les polluants ayant un effet avec seuil (as) et un effet sans seuil (ss), l'effet correspondant au classement est associé au nom de la substance)

SUBSTANCE			CLASSEMENT	INDICE DE HIERARCHISATION	
Nom	Formule	CAS	Urbain 2015	Urbain 2015	Cplante /VTR
benzo[a]pyrène	$\text{C}_{20}\text{H}_{12}$	50-32-8	1	1,7E+04	
benzo[a]anthracène	$\text{C}_{18}\text{H}_{12}$	56-55-3	2	2,8E+03	
benzo[k]fluoranthène	$\text{C}_{20}\text{H}_{12}$	207-08-9	3	1,8E+03	
benzo[b]fluoranthène	$\text{C}_{20}\text{H}_{12}$	205-99-2	4	1,1E+03	
chrysène	$\text{C}_{18}\text{H}_{12}$	218-01-9	5	4,6E+02	
indéno[1,2,3-cd]pyrène	$\text{C}_{22}\text{H}_{12}$	193-39-5	6	4,6E+02	
dibenzo[a,h]anthracène	$\text{C}_{22}\text{H}_{14}$	53-70-3	7	1,8E+02	
fluoranthène (ss)	$\text{C}_{16}\text{H}_{10}$	206-44-0	8	1,0E+02	
1,2,3,7,8-pentachlorodibenzo-para-dioxine	$\text{C}_{12}\text{H}_3\text{Cl}_5\text{O}_2$	40321-76-4	9	8,4E+01	
2,3,7,8- tétrachlorodibenzodioxine (2,3,7,8 TCDD) (ss)	$\text{C}_{12}\text{H}_4\text{Cl}_4\text{O}_2$	1746-01-6	10	8,0E+01	
1,2,3,7,8-pentachlorodibenzofurane	$\text{C}_{12}\text{H}_3\text{Cl}_5\text{O}$	57117-31-4	11	7,1E+01	
antimoine	Sb	7440-36-0	12	6,3E+01	
acénaphthène (ss)	$\text{C}_{12}\text{H}_{10}$	83-32-9	13	5,0E+01	
cadmium	Cd	7440-43-9	14	3,1E+01	7,4E-03
arsenic (ss)	As	7440-38-2	15	2,2E+01	
plomb (ss)	Pb	7439-92-1	16	1,1E+01	6,9E-02

Les ratios de risque sont compris entre $6,7 \cdot 10^{-6}$ et $6,9 \cdot 10^{-2}$. L'application d'un pourcentage qui représenterait la part de l'exposition aux plantes-feuilles par rapport à l'exposition totale serait plus appropriée mais n'amènerait pas à des ratios de risque supérieurs à 1.

Le groupe de travail considère sur la base de ces données que les éléments métalliques ne sont pas à retenir pour la voie orale.

Les polluants en tête de liste sont des HAP semi-volatils et des dioxines et un furane.

Comme indiqué précédemment, des données d'émissions ont pu être calculées pour 17 HAP ayant des valeurs de référence pour la voie orale à partir de données de spéciation de la méthode COPERT IV. Pour les dioxines et furanes, les données de spéciation de la méthode COPERT IV pour le calcul des émissions ne sont disponibles que par famille : tétrachlorodibenzodioxines (TCDD ou TeCDD), pentachlorodibenzodioxines (PeCDD), hexachlorodibenzodioxines (HxCDD), heptachlorodibenzodioxines (HpCDD), octachlorodibenzodioxines (OCDD), tétrachlorodibenzofuranes (TCDF ou TeCDF), pentachlorodibenzofuranes (PeCDF), hexachlorodibenzofuranes (HxCDF) et heptachlorodibenzofuranes (HpCDF).

La proportion de chaque HAP et famille de dioxines et furanes dans les émissions totales a été calculée et est présentée dans le Tableau XIV ci-dessous :

Tableau XIV : Proportion (%) des HAP et dioxines-furanes dans les émissions totales de leur famille

Substance	Proportion HAP	Substance	Proportion Dioxines-Furanes
benzo(a)pyrène	0,1	TCDD.Total	12
indéno(1,2,3-cd)pyrène	0,1	PeCDD.Total	15
benzo(k)fluoranthène	0,1	HxCDD.Total	4
benzo(b)fluoranthène	0,2	HpCDD.Total	0,7
benzo(ghi)pérylène	0,2	OCDD	0,5
fluoranthène	2	TCDF.Total	10
pyrène	2	PeCDF.Total	27
benzo(j)fluoranthène	0,1	HxCDF.Total	27
dibenzo(a,l)pyrène	0,004	HpCDF.Total	3
benzo(a)anthracène	0,2		
acénaphthylène	2		
acénaphthène	2		
fluorène	0,2		
chrysène	0,4		
phénanthrène	4		
naphtalène	91		
anthracène	0,2		
dibenzo(a,h)anthracène	0,03		
dibenzo(a,e)pyrène	0,001		
dibenzo(a,h)pyrène	0,0001		
dibenzo(a,i)pyrène	0,0002		

Comme pour les HAP, les dioxines et furanes ont fait l'objet d'une attention particulière sur la problématique des mélanges dès les années 80. Des organismes tels que l'OMS et des agences américaines telles que l'US EPA et l'OEHHA ont fait des recommandations en développant une approche par équivalent toxique. La substance de référence est le 2,3,7,8-TCDD pour la proposition de facteurs d'équivalence toxique (FET) applicables au mélange de composés dioxines-like qui intègre aussi certains polychlorobiphényles (PCB).

6.2 Discussion

Une comparaison de la liste des 16 polluants issus des travaux de 2004 avec les 15 polluants et familles de polluants pressentis en 2012 montre que :

- 10 substances de 2004 sont reconduites en 2012 : acroléine, dioxyde d'azote (NO₂), benzène, chrome, formaldéhyde, 1,3-butadiène, acétaldéhyde, nickel, benzo[a]pyrène, arsenic
- 5 substances de 2004 ne sont plus retenues en 2012 : dioxyde de soufre (SO₂), cadmium, plomb, mercure et baryum
- De nouvelles substances ou familles de polluants sont proposées en 2012 : éthylbenzène ; propionaldéhyde, ammoniac, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et dioxines-furanes.

Une évolution est proposée pour la prise en compte des particules en masse (PM₁₀ et PM_{2,5}) plutôt que les particules diesel. Celle-ci rejoint les évolutions sur la documentation des émissions en particules des véhicules motorisés (diesel et essence) intégrées dans la méthode COPERT IV mais aussi les modalités de surveillance des particules dans l'air ambiant qui constituent un marqueur de la pollution urbaine et à proximité du trafic.

Ces travaux d'expertise sont fondés sur trois étapes clés

- Identification des polluants
- Hiérarchisation des polluants
- Choix des polluants

6.2.1 Identification des polluants

Un grand nombre de polluants émis en lien avec les projets d'infrastructures routières a été listé couvrant les différentes origines d'émission.

Dix (10) substances actives utilisées dans des produits phytosanitaires pour l'entretien des voies ont été identifiées à partir d'une étude de l'INERIS réalisée en 2008 dans le cadre de l'ORP (INERIS ; 2008). Parmi ces polluants, le glyphosate est *a priori* le plus utilisé et l'aminotriazole celui présentant la VTR la plus stricte. Il est à noter que le glyphosate est un herbicide total habituellement utilisé pour les abords des voies et est donc utilisé en plus grande quantité que l'aminotriazole qui a une fréquence d'utilisation plus faible.

La prise en compte de ces polluants dans la démarche de hiérarchisation n'a pas été retenue par le groupe de travail car il a été considéré que l'estimation d'un paramètre d'émission pour ces polluants n'était pas appropriée en raison des hypothèses à prendre en compte pour les rapprocher des émissions à l'échappement ou autres.

L'approche retenue dans le cadre des autorisations de mise sur le marché des produits phytosanitaires ne permet pas de réaliser une estimation de l'émission et de l'exposition des populations avoisinant une infrastructure routière (pendant son exploitation). Les préparations phytosanitaires utilisées pour l'entretien des voies de circulation routières représentent 5 à 10 % des préparations utilisées en Zones Non Agricoles (ZNA) (1% pour les autoroutes). D'une manière générale, ce sont des herbicides appliqués à l'aide de rampes quand les zones s'y prêtent, sinon par pulvérisateur à dos ou atomiseur pour les zones plus difficiles d'accès ; dans ce cas, la dérive de l'herbicide dans l'air est très faible.

Beaucoup de ces polluants ont une valeur de tension de vapeur saturante très faible, ce qui entraîne la présence de l'herbicide principalement sous forme de gouttelettes et, par conséquent, une dérive dans l'air très faible au moment du traitement limitant *a priori* l'exposition par inhalation.

Pour finir, la remise en suspension des poussières et des particules dans l'air liée à l'application des produits phytosanitaires n'est pas prise en compte pour l'instant dans la plupart des modèles, et pourrait éventuellement constituer une voie de transfert pour ces polluants.

6.2.2 Hiérarchisation des polluants

La hiérarchisation des polluants d'intérêt à prendre en compte dans les études d'impact s'est fondée sur un ratio entre les données d'émissions et les valeurs de référence disponibles accompagné par le calcul d'un ratio de risque pour les polluants disposant de niveaux de concentrations (air et dépôt) à proximité d'infrastructures routières. La disponibilité de ces données représente la clef du choix des polluants.

Des limites sur la méthode de hiérarchisation découlent de la qualité des données retenues pour les calculs.

- Pour les valeurs de référence (VTR et valeurs guides), le choix a été fait selon 2 niveaux, en valorisant en premier l'expertise de l'Anses sur le choix ou la construction de VGAI ou de VTR puis en second le choix de la valeur la plus protectrice.

Ainsi, les valeurs de référence retenues dans ces travaux de hiérarchisation ne reposent pas toutes sur une analyse approfondie des données toxicologiques disponibles pour chaque polluant ni de la méthode de construction des valeurs existantes. Elles ne seraient pas forcément appropriées dans l'instruction d'une évaluation quantitative des risques sanitaires pour les populations résidant à proximité des infrastructures routières.

Par ailleurs, parmi les 270 polluants ne disposant pas de valeur de référence, 30 polluants sont classés cancérogènes par le CIRC et/ou en tant que substance cancérogène, mutagène ou toxique pour la reproduction (CMR) (règlement 1272/2008 appelé CLP) dont 24 sont des HAP.

- La documentation des facteurs d'émission pour les polluants ayant des valeurs de référence a reposé sur l'utilisation d'outils de calcul ou des données issues de mesures *in situ* ou en laboratoire publiées dans la littérature. Or il faut observer que les polluants les plus mesurés à l'émission des véhicules motorisés sont principalement les polluants réglementés (CO, particules en masse, oxydes d'azote, composés organiques volatils totaux (COV) etc.), mesurés pour la plupart sous forme d'« agrégats » et dont l'interprétation en terme d'enjeu sanitaire est complexe. La mesure des autres polluants et surtout l'identification des substances individuelles sont plus rarement réalisées (en raison de la complexité des analyses). On dispose ainsi de peu d'éléments permettant de différencier NO et NO₂, alors que les NO_x sont mesurés fréquemment, et de même, les hydrocarbures individuels ne sont connus que par des spéciations réalisées sur peu de véhicules et de tests. On doit donc constater que les facteurs d'émissions des substances les plus préoccupantes d'un point de vue sanitaire sont le plus souvent d'assez faible qualité au travers des outils et connaissances actuels. La comparaison des données d'émission issues de la littérature avec celles calculées par l'outil CopCETE a montré par ailleurs des différences d'ordre de grandeur notamment pour les HAP, mais ne permettait cependant pas d'opter pour les valeurs de la littérature, les conditions de mesure étant fondamentalement différentes. Les données calculées - plus élevées - ont donc été retenues dans une approche majorante.

De plus, la quantification des émissions pour les phénomènes de remise en suspension des particules déposées au sol et de sels de fondants routiers n'est pas intégrée dans les outils mais commence à faire l'objet de publications dans la littérature. L'importance de ces sources d'émissions a été soulignée par la confrontation des données de la littérature (synthétisées dans ce cadre) avec celles calculées par CopCETE.

On notera enfin que deux substances disposant de valeurs de référence mais n'étant pas documentées en termes d'émission n'ont pas été retenues dans la hiérarchisation, alors qu'elles sont classées cancérogènes par le CIRC et/ou en tant que CMR.

- Les mesures de concentrations (air et dépôt) à proximité d'infrastructures routières sont peu nombreuses. Les polluants réglementés par la directive 2008/50/CE sont ceux pour lesquels le maximum d'informations est disponible pour les niveaux de concentrations dans l'air. Une extraction des données de la base Airbase a pu être réalisée pour fournir des données dans une approche majorante en s'orientant sur des percentiles 98 et 75 des

concentrations françaises. Cependant, le nombre de stations de mesure « trafic » sur le territoire national pour chaque polluant est variable allant de 70 pour le NO₂ à 4 pour les métaux (Ni, As, Pb, Cd) et le benzo[a]pyrène.

Par ailleurs, les niveaux de concentrations mesurés en zone urbaine, péri-urbaine, rurale ou en proximité industrielle ont été renseignés pour chacun des polluants réglementés.

Pour les 16 polluants proposés dans la note méthodologique de 2005, des données datant de 2002 à 2005 ont été rassemblées dans une étude du CERTU et du Sétra dans laquelle il est comparé les concentrations pour des sites trafic au regard des sites de fond urbain.

Des niveaux de concentrations dans l'air ont pu être utilisés pour calculer un ratio de risque pour les polluants suivants : benzène, benzo(a)pyrène, plomb (Pb), arsenic (As), cadmium (Cd), nickel (Ni), acroléine, formaldéhyde, acétaldéhyde, 1,3 butadiène et chrome.

Concernant les dépôts atmosphériques, des ratios de risque ont pu être calculés pour un nombre limité d'éléments métalliques. L'absence de données de dépôts ne permet pas de calculer de ratio de risque ni de représenter la contribution d'une infrastructure routière aux émissions des HAP et dioxines et furanes.

6.2.3 Choix des polluants

La problématique des émissions de **HAP** issues des infrastructures routières est ressortie dans le cadre de ces travaux d'expertise avec plusieurs polluants en tête de la hiérarchisation pour les voies respiratoire et orale chroniques. Les émissions de ces polluants sont difficilement caractérisées et aucun ratio de risque à partir de données de concentration à proximité d'infrastructures routières n'a pu être déterminé pour l'inhalation et l'ingestion à part pour le benzo[a]pyrène. Les effets sur la santé de cette famille de polluants sont connus et implique de les considérer dans les études d'évaluation des risques.

Pour la voie orale, l'absence de données de dépôts pour les **HAP** et les **dioxines-furanes** n'a pas permis de calculer de ratio de risque. Cependant leurs indices de hiérarchisation élevés incitent à les retenir.

Deux polluants (**chrome et acroléine**) appellent à des commentaires particuliers.

Les effets sur la santé du chrome sont établis pour le chrome hexavalent (Cr (VI)) pour le développement de cancer du poumon. La mesure du chrome porte sur le suivi du chrome total (Cr(III) et Cr(VI) réduit en Cr(III)). Les émissions de métaux issues des véhicules (échappement, usure) ne sont quasiment jamais mesurées. Aucune donnée n'a été identifiée pour caractériser le pourcentage de Cr (VI) dans les émissions totales en chrome mesurées pour les véhicules.

Des limites sur la mesure de l'acroléine dans l'air selon la méthode classiquement mise en œuvre pour les aldéhydes sont documentées (dégradation du dérivé formé sur le support de prélèvement et dans la solution de désorption, co-élution notamment avec l'acétone et interférence avec l'ozone) ce qui pourrait conduire à une sous-estimation de la concentration réelle.

7 Informations sur les polluants retenus et leurs intégrations dans des EQRS

Pour accompagner la liste de polluants hiérarchisés, le groupe de travail a souhaité documenter des informations utiles en lien avec la démarche d'évaluation quantitative des risques pour la santé demandée pour les projets d'infrastructures routières de niveau I. Les informations recherchées ont pour objectifs d'apporter des éléments de réponse aux questions suivantes :

- S'agit-il d'une substance spécifique ou non de la pollution liée aux infrastructures routières ? La contribution des émissions du transport routier a été recherchée dans l'inventaire national du Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique CITEPA (format SECTEN, année de référence 2009 ou 2010 selon les données) et les inventaires régionaux des polluants atmosphériques ;
- Quelles sont les données disponibles concernant les valeurs de référence et le calcul des données d'émissions ? Une analyse qualitative des VTR et FE existants a été réalisée afin de décrire les connaissances disponibles par polluant ou famille de polluants ;
- Y-a-t-il des méthodes de prélèvement et d'analyse disponibles pour la mesure ou la modélisation des niveaux de concentrations pour chaque polluant ou famille de polluants ? Les méthodes de mesure issues des normes pour la qualité de l'air ou celles établies par l'INRS pour la mesure de l'exposition professionnelle ont été documentées pour décrire les techniques disponibles pour la mesure de chaque polluant dans l'air à proximité d'infrastructures routières ;
- De façon générale, est-ce que ces polluants font l'objet d'une surveillance et des données de concentration sont-elles disponibles ? Les données disponibles en France de concentrations sur des sites trafic dans le cadre du réseau des AASQA ont été recherchées pour chaque polluant.

Pour finir, des éléments sur la modélisation de la dispersion de ces polluants dans l'atmosphère et leur transfert dans les autres milieux sont présentés en fin de ce chapitre car ces aspects sont communs à tous les polluants.

7.1 Hydrocarbures

7.1.1 Alcènes

Le 1,3 butadiène est le seul alcène ressortant en tête de la hiérarchisation pour la voie respiratoire chronique.

7.1.1.1 Informations générales

Les émissions du transport routier représentent 17 % des émissions totales pour les alcènes ; il s'agit du 2^{ème} contributeur après le secteur résidentiel et tertiaire.

7.1.1.2 Analyse qualitative des valeurs de référence

Il existe une VTR à seuil et 3 VTR sans seuil pour le 1,3 butadiène. La VTR à seuil de $2 \cdot 10^{-3} \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ a été proposée par l'US EPA en se basant sur une étude par inhalation chez l'animal avec pour effet critique une atrophie ovarienne.

Concernant les VTR sans seuil, l'US EPA a proposé un ERU de $3 \cdot 10^{-5} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$ en se basant sur une étude humaine par inhalation avec pour effet critique les leucémies. Santé Canada a retenu également une étude humaine avec pour effet critique les leucémies afin de proposer une $\text{CT}_{0,01}$ à

1,7 mg.m⁻³. Enfin, l'OEHHA a proposé une ERU de $1,7 \cdot 10^{-4}$ (µg.m⁻³)⁻¹ en se basant sur une étude par inhalation chez l'animal avec pour effet critique des néoplasmes alvéolaires et des bronches.

7.1.1.3 Analyse qualitative des FE

Les facteurs d'émissions des hydrocarbures individuels ou par familles reposent sur des spéciations. Ces spéciations sont rarement établies lors des mesures d'émissions à l'échappement (ou par évaporation) des véhicules motorisés, car elles nécessitent des moyens d'analyses conséquents dont peu de laboratoires d'émission disposent. Les facteurs d'émissions des hydrocarbures individuels sont donc calculés proportionnellement aux quantités totales d'hydrocarbures sur la base de spéciations communes établies pour quelques grandes catégories de véhicules et carburants. La qualité de ces facteurs d'émission est donc assez faible ; ceux-ci n'intègrent pas ou mal l'évolution réglementaire des véhicules et les conditions de circulation par exemple.

7.1.1.4 Méthodes de mesure, surveillance et niveaux observés

L'INRS (fiche 076 du 18/07/2003) présente la méthode de mesure du 1,3-butadiène par chromatographie en phase gazeuse.

Prélèvement : il est réalisé sur tube de verre contenant deux plages de 100 et 50 mg de charbon actif, séparées et maintenues par des tampons en laine de verre ; une alternative consiste à prélever par canister ou sur des méthodes de mesures passives .

Analyse : l'analyse est réalisée par chromatographie en phase gazeuse avec détecteur à ionisation de flamme, après désorption à l'aide de disulfure de carbone pour les tubes de charbon actif et désorption thermique pour les méthodes de mesures passives.

Interférences : il existe d'éventuelles interférences possibles avec des hydrocarbures en C4-C5 (par exemple lors de prélèvement des postes de travail mettant en jeu des gaz du type butane).

Le 1,3-butadiène n'est pas réglementé pour la qualité de l'air est n'est donc pas surveillé en routine par les organismes agréés de surveillance de la qualité de l'air.

7.1.2 **Hydrocarbures aromatiques monocycliques**

Deux polluants ont été hiérarchisés pour l'exposition respiratoire chronique, il s'agit du benzène et de l'éthylbenzène.

7.1.2.1 Informations générales

Les émissions du transport routier représentent 17 % des émissions totales pour les aromatiques monocycliques ; il s'agit du 3^{ème} contributeur après l'industrie manufacturière et le secteur résidentiel et tertiaire. Le bilan national du CITEPA renseigne uniquement en termes de spéciation des composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) les émissions en benzène. Le transport routier représente 13% des émissions totales et se positionne en 2^{ème} contributeur après le secteur résidentiel et tertiaire.

7.1.2.2 Analyse qualitative des valeurs de référence

Concernant l'éthylbenzène, il existe 4 VTR à seuil et une VTR sans seuil. L'ATSDR a proposé une VTR à 0,06 ppm en se basant sur une étude par inhalation chez l'animal avec pour effet critique les néphropathies chroniques progressives. L'US EPA a proposé une VTR à 1 mg.m⁻³ en se basant sur une étude par inhalation chez l'animal avec pour effet critique une atteinte au cours du développement. Le RIVM a proposé une VTR à 0,77 mg.m⁻³ en se basant sur une étude par inhalation chez l'animal avec pour effet critique une atteinte au niveau rénal et hépatique. Enfin, l'OEHHA a proposé une VTR à 2 mg.m⁻³ en se basant sur une étude par inhalation chez l'animal avec pour effet critique l'observation d'un corpus d'atteintes incluant une néphrotoxicité, une réduction du gain de poids, une hyperplasie de la glande pituitaire, une nécrose et une altération des cellules hépatiques.

L'OEHHA a également proposé un ERU de $2,5 \cdot 10^{-6}$ ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)⁻¹ en se basant sur une étude par inhalation chez l'animal avec comme effet critique les cancers rénaux.

Concernant le benzène, l'expertise de l'Anses relative aux valeurs guide de qualité d'air intérieur avait retenu une VTR à seuil et un ERU. La VTR à seuil de $10 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ retenue par l'Anses a été proposée par l'ATDSR en se basant sur une étude humaine par inhalation avec pour effet critique une diminution des lymphocytes B.

L'OMS a proposé dans le cadre de ses valeurs guides, un ERU de $6 \cdot 10^{-6}$ ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)⁻¹ en se basant sur une étude humaine par inhalation avec pour effet critique les leucémies.

7.1.2.3 Analyse qualitative des FE

Les facteurs d'émissions des hydrocarbures aromatiques monocycliques individuels reposent sur les mêmes analyses que les autres hydrocarbures individuels ou par famille (cf.7.1.1.3). La qualité de leurs facteurs d'émission est en conséquence assez faible et ceux-ci n'intègrent pas ou mal l'évolution réglementaire des véhicules et les conditions de circulation par exemple.

7.1.2.4 Méthodes de mesure, surveillance et niveaux observés

Le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes (BTEX) peuvent être mesurés à l'aide d'analyseur automatique ou par des méthodes de mesure indirecte.

La série de norme NF EN 14662 décrit les méthodes normalisées pour le mesurage de la concentration en benzène dans l'air ambiant.

Mesure continue : Analyseur automatique

La norme NF EN 14662-3 du 5 novembre 2005 présente la méthode par pompage automatique et analyse chromatographique en phase gazeuse sur site. Elle précise les critères de prélèvement et d'analyse et est communément mise en œuvre dans les AASQA au niveau de toutes les régions.

Mesure indirecte

Les parties 1, 2, 4 et 5 de la série de normes NF EN 14662 décrivent les méthodes de mesure par diffusion passive ou par pompage suivi d'une désorption soit thermique soit au solvant et d'une analyse par chromatographie en phase gazeuse.

Prélèvement :

Ces méthodes diffèrent sur le principe et la durée de prélèvement : le prélèvement actif repose sur le passage d'un flux d'air au moyen d'une pompe en général sur une période de 24 heures et le prélèvement passif sur la diffusion de l'air au travers du média sur une durée de plusieurs jours ou plusieurs semaines.

Analyse : Le choix entre la désorption thermique ou solvant repose sur le domaine de validation de ces méthodes qui dans le cas de la désorption thermique s'applique à des concentrations comprises entre 0,5 et 50 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ et pour la désorption au solvant pour des concentrations comprises entre 0,5 et 20 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Le benzène est intégré dans la directive européenne 2008/50/CE relative à la qualité de l'air et fait donc l'objet d'une surveillance pérenne par les organismes de surveillance de la qualité de l'air.

Les concentrations moyennes annuelles généralement relevées en proximité trafic sont comprises entre 1,1 et 1,7 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Sur certaines stations trafic particulières des grandes agglomérations (par exemple parisienne), les valeurs peuvent dépasser 2 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ qui constitue l'objectif national de qualité de l'air.

Il n'y a pas de données représentatives pour l'éthylbenzène qui n'est pas réglementé pour la qualité de l'air.

7.1.3 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

7.1.3.1 Informations générales

L'agence de protection de l'environnement des Etats-Unis (U.S. EPA) a classé 16 HAP²⁸ comme polluants prioritaires au regard de leurs toxicités et sont par conséquent couramment recherchés.

De manière générale, le naphthalène représente les HAP les plus légers, formés de 2 cycles qui sont émis sous forme gazeuse tandis le benzo[a]pyrène représente les HAP les plus lourds, qui sont généralement émis sous forme particulaire. Les molécules de type fluoranthène et pyrène, constitués de quatre cycles aromatiques, sont retrouvés à la fois sous formes gazeuse et particulaire.

Dans les inventaires d'émission, huit HAP individuels sont documentés. Le CITEPA a mené des travaux pour définir la spéciation des émissions en HAP par type d'émetteur. Les émissions nationales en HAP du transport routier sont de 26% (2^{ème} contributeur après le secteur résidentiel et tertiaire).

Parmi les huit HAP considérés, le fluoranthène est le HAP le plus émis (58,2%) suivi par le benzo[a]anthracène (9,9%) et le benzo[b]fluoranthène (8,2%).

Les émissions du transport routier pour le benzo[a]anthracène représentent 15 % des émissions totales, 23 % des émissions totales pour le benzo[b]fluoranthène et 29,4 % des émissions totales pour l'indéno[1,2,3-cd]pyrène.

7.1.3.2 Analyse qualitative des valeurs de référence

Au niveau international, l'approche retenue pour rendre compte de la toxicité globale des mélanges de HAP, comme pour les composés dioxines-like reposent sur des facteurs d'équivalence toxique (FET) applicables aux HAP d'un mélange afin d'estimer les risques liés à une co-exposition à ces composés (Ineris,2003). Par définition, la substance de référence a un facteur de toxicité de 1 et les autres congénères des facteurs déterminés expérimentalement ou par analogie de structure chimique. Les interactions possibles en présence de mélange sont complexes (synergie, antagonisme). L'approche par équivalence toxique est une approche par défaut basée sur la notion d'additivité des doses. La concentration de chaque HAP est multipliée par son FET et les valeurs obtenues sont additionnées entre elles, la somme correspondant au TEQ (Total toxic equivalency).

Dans le cadre d'étude d'EQRS, des recommandations ont été formulées pour la caractérisation du risque. L'approche par équivalent toxique est recommandée par l'INERIS pour les effets sans seuil pour les 2 voies d'exposition (INERIS, 2006). Pour les effets à seuil, il s'agit d'une approche substance par substance.

L'EQRS pour les effets sans seuil est réalisée classiquement sur la liste des 16 HAP prioritaires proposés par l'US EPA qui sont présentés dans le Tableau XV avec les FET proposés par l'INERIS.

Au niveau des HAP hiérarchisées pour la voie respiratoire et orale dans le cadre de ces travaux d'expertise, 5 HAP ne sont pas compris dans la liste des 16 HAP de l'US EPA. Il s'agit du benzo(j)fluoranthène, dibenzo(a,l)pyrène, dibenzo(a,e)pyrène, dibenzo(a,h)pyrène, dibenzo(a,i)pyrène. Des FET sont proposés pour ces HAP par l'OEHHA et sont listés dans le Tableau XV. Une comparaison des FET proposés par ces 2 organismes montre que les HAP en commun ont les mêmes valeurs de FET.

²⁸ Naphtalène, Acénaphtylène, Acénaphène, Fluorène, Phénanthrène, Anthracène, Pyrène, Fluoranthène, Benzo(a)anthracène, Chrysène, Benzo(b)fluoranthène, Benzo(k)fluoranthène, Benzo(a)pyrène, Indéno(1,2,3-c,d)pyrène, Dibenzo(a,h)anthracène, Benzo(g,h,i)pérylène

Tableau XV : Facteur d'équivalence toxique (FET) proposé par l'INERIS et l'OEHHA pour les HAP identifiés

16 HAP EPA	FET INERIS 2003	HAP hiérarchisée voie orale	FET OEHHA 2009	FET INERIS 2003	HAP hiérarchisée voie respiratoire	FET OEHHA 2009	FET INERIS 2003
acénaphthène	0,001	benzo(a)pyrène	1	1	benzo(a)pyrène	1	1
acénaphthylène	0,001	indéno(1,2,3-cd)pyrène	0,1	0,1	indéno(1,2,3-cd)pyrène	0,1	0,1
anthracène	0,01	benzo(k)fluoranthène	0,1	0,1	benzo(k)fluoranthène	0,1	0,1
benzo(a)anthracène	0,1	benzo(b)fluoranthène	0,1	0,1	benzo(b)fluoranthène	0,1	0,1
benzo(a)pyrène	1	benzo(ghi)pérylène	/	0,01	benzo(j)fluoranthène	0,1	/
benzo(b)fluoranthène	0,1	fluoranthène	/	0,001	dibenzo(a,l)pyrène	10	/
benzo(k)fluoranthène	0,1	pyrène	/	0,001	benzo(a)anthracène	0,1	0,1
benzo(ghi)pérylène	0,01	benzo(j)fluoranthène	0,1	/	chrysène	0,01	0,01
chrysène	0,01	dibenzo(a,l)pyrène	10	/	naphtalène	/	0,001
dibenzo(a,h)anthracène	1	benzo(a)anthracène	0,1	0,1	anthracène	/	0,01
fluorène	0,001	acénaphthylène	/	0,001	dibenzo(a,h)anthracène*	/	1
fluoranthène	0,001	acénaphthène	/	0,001	dibenzo(a,e)pyrène	1	/
indéno(1,2,3-cd)pyrène	0,1	fluorène	/	0,001	dibenzo(a,h)pyrène	10	/
naphtalène	0,001	chrysène	0,01	0,01	dibenzo(a,i)pyrène	10	/
phénanthrène	0,001	phénanthrène	/	0,001			
pyrène	0,001	naphtalène	/	0,001			
		anthracène	/	0,01			
		dibenzo(a,h)anthracène	/	1			
		dibenzo(a,e)pyrène	1	/			
		dibenzo(a,h)pyrène	10	/			
		dibenzo(a,i)pyrène	10	/			

Dans la pratique, le naphtalène peut être pris à part et ne pas être intégré dans l'approche par équivalent toxique à cause de ses propriétés chimiques et du fait de VTR étayées disponibles. L'expertise de l'Anses relative aux valeurs guide de qualité d'air intérieur avait retenu une VTR à seuil de $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pour une exposition chronique en se basant sur une étude par inhalation chez l'animal avec pour effet critique l'inflammation nasale.

Une expertise est en cours au sein de l'Anses sur la construction ou le choix de VTR pour le naphtalène.

7.1.3.3 Analyse qualitative des FE

Les HAP à l'émission des véhicules motorisés sont mesurés par analyse en phase particulaire mais peuvent être également présents en phase gazeuse. Les techniques de caractérisation des HAP sont complexes et peu de travaux ont été effectués jusqu'ici sur ces polluants. On dispose en conséquence de quelques spéciations communes à des grandes catégories de véhicules et carburants et les facteurs d'émissions sont calculés proportionnellement à ces données. La qualité des facteurs d'émission est donc faible et ceux-ci n'intègrent pas ou mal les évolutions réglementaire et technologique des véhicules ni les conditions de circulation (vitesse).

Au niveau des HAP hiérarchisés pour la voie respiratoire et orale dans le cadre de ces travaux d'expertise, les données de FE ont été estimées soit à partir des spéciations de la méthode

COPERT IV soit le cas échéant à partir de données de la littérature. Parmi les 16 HAP prioritaires de l'US EPA, des données de spéciation sont fournies par la méthode COPERT IV. Pour les 5 HAP hiérarchisés, les émissions ont été documentées via la spéciation COPERT IV pour le benzo(j)fluoranthène et le dibenzo(a,l)pyrène, alors que pour les 3 derniers, le dibenzo(a,e)pyrène, le dibenzo(a,h)pyrène et le dibenzo(a,i)pyrène, il s'agit de données de la littérature.

7.1.3.4 Méthodes de mesure, surveillance et niveaux observés

Prélèvement : Les HAP particuliers sont collectés grâce à un collecteur de particules équipé d'une tête de prélèvement normalisée pour la collecte des PM₁₀. Les HAP peuvent être prélevés avec un préleveur haut débit ou bas débit. La collecte des HAP gazeux nécessite l'ajout d'une mousse PUF sur le système de prélèvement. Les systèmes de prélèvement doivent répondre aux critères de la norme NF EN 12341 (Qualité de l'air – Détermination de la fraction PM₁₀ de matière particulaire en suspension – janvier 1999).

Les filtres utilisés sont des filtres en fibre de quartz combinés ou non avec des mousses PUF adaptées à chaque géométrie de préleveur. Les filtres utilisés sont de diamètres différents en fonction du type de préleveur utilisé (47 mm pour les préleveurs bas débit et 150 mm pour les préleveurs haut débit).

Analyse : Les supports de prélèvement sont extraits à l'aide de dichlorométhane, puis analysés par chromatographie liquide haute pression avec détection fluorimétrique.

La méthode d'analyse est basée sur la norme NF EN 15549 (Qualité de l'air – Méthode normalisée pour le mesurage de la concentration de benzo(a)pyrène dans l'air ambiant - juillet 2008).

Le benzo(a)pyrène est réglementé pour la qualité de l'air ambiant. Il fait donc l'objet d'une surveillance par les organismes de surveillance de la qualité de l'air.

En proximité trafic, les concentrations annuelles généralement relevées sont comprises dans une fourchette entre 0,25 et 0,35 ng.m⁻³.

7.2 Éléments métalliques

Trois éléments métalliques ont été hiérarchisés pour l'exposition respiratoire chronique, il s'agit du chrome (Cr), du nickel (Ni) et de l'arsenic (As) par ordre décroissant dans le classement de hiérarchisation.

7.2.1 Informations générales

Les émissions de ces éléments métalliques par le transport routier ne sont pas intégrées dans les bilans nationaux du CITEPA. La méthode prise en compte pour l'estimation des émissions repose sur la méthode COPERT et seules les émissions de cuivre et de plomb sont documentées dans l'inventaire SECTEN. Pour le cuivre, les émissions sont issues de l'usure des freins. Les émissions de plomb sont nulles à partir de l'année 2001 avec l'interdiction des essences plombées au 1^{er} janvier 2000 et l'introduction de l'essence sans plomb.

Les AASQA réalisent des bilans d'émissions à l'échelle régionale pour différents objectifs dont la hiérarchisation des sources d'émissions (sectorisation des rejets) en aide à la gestion. Des données d'émission pour le secteur du transport routier sont disponibles pour le nickel. En Alsace, les émissions du transport routier représente 3% des émissions alsaciennes et se positionne en 4^{ème} contributeur après le secteur de la transformation énergétique, l'industrie manufacturière et le secteur résidentiel et tertiaire.

7.2.2 Analyse qualitative des valeurs de référence

Concernant le chrome, l'OEHHA a proposé un ERU de 0,15 (µg.m⁻³)⁻¹ pour le chrome VI en se basant sur une étude humaine par inhalation avec pour effet critique les cancers du poumon.

Concernant le nickel, il existe deux VTR à seuil et deux VTR sans seuil. L'ATSDR a proposé une VTR de 0,09 µg.m⁻³ en se basant sur une étude par inhalation chez l'animal avec pour effet critique une inflammation chronique et une fibrose pulmonaire. Le RIVM a proposé une VTR de

0,05 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en se basant sur une étude humaine par inhalation avec pour effet critique une atteinte du système respiratoire.

L'US EPA a proposé un ERU de $2,4\cdot 10^{-4}$ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)⁻¹ pour les poussières de nickel en se basant sur une étude humaine par inhalation avec pour effet critique les cancers du poumon. L'OEHHA a proposé un ERU de $2,6\cdot 10^{-4}$ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)⁻¹ en se basant sur des études humaine et animale par inhalation avec pour effet critique les cancers du poumon.

Concernant l'arsenic, il existe deux VTR à seuil et deux VTR sans seuil. L'OEHHA a proposé une VTR à seuil de $0,015 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pour l'arsenic organique en se basant sur une étude humaine par ingestion (impliquant une transposition de voie à voie) avec pour effet critique une diminution de la fonction intellectuelle. Le RIVM a proposé une VTR à seuil de $1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pour l'arsenic trivalent en se basant sur une étude humaine par inhalation avec pour effet critique l'apparition de cancers du poumon en retenant un mécanisme d'action à seuil de dose.

L'OEHHA a proposé un ERU de $3,3\cdot 10^{-3}$ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)⁻¹ pour l'arsenic inorganique en se basant sur une étude humaine par inhalation avec pour effet critique les cancers du poumon. Enfin, l'US EPA a proposé un ERU de $4,3\cdot 10^{-3}$ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)⁻¹ en basant sur des études humaine et animale par inhalation avec pour effet critique les cancers du poumon.

7.2.3 Analyse qualitative des FE

Les émissions de métaux ne sont quasiment jamais mesurées pour les véhicules (échappement, usure). Actuellement, l'approche européenne COPERT n'est basée que sur des approches *in situ* tirées de la littérature. Les métaux contenus dans le carburant, l'huile et ceux résultant de l'usure mécanique à l'intérieur du moteur sont pris en compte et interprétés en contenu-équivalent dans le carburant. Les facteurs d'émission sont donc proportionnels à la consommation. Les métaux issus de l'usure de freins et pneumatiques sont également évalués à partir d'approches très empiriques. La qualité des facteurs d'émission est donc faible.

7.2.4 Méthodes de mesure, surveillance et niveaux observés

L'INRS (fiche 003/V01 du 7/04/2008) présente une méthode de prélèvement et d'analyse d'aérosols contenant des métaux et métalloïdes.

Par composé :

Nickel : le prélèvement est effectué sur filtre en fibre de quartz et l'analyse par spectrophotométrie (d'absorption atomique flamme, d'absorption atomique avec atomisation électrothermique, d'émission à plasma).

Arsenic : le prélèvement est effectué sur filtre en fibre ; le composé est très stable mais son atomisation est possible par formation d'hydrure d'arsenic. L'analyse porte sur la quantité d'hydrure d'arsenic.

Chrome : le suivi concerne le chrome total (Cr (III) et Cr (VI) réduit en Cr (III)). Le chrome VI est mesurable par spectrophotométrie mais il y a toujours un risque de réduction en présence de divers composés (par exemple le lévoglucosan).

Le nickel et l'arsenic sont réglementés pour la qualité de l'air (surveillance par les AASQA) alors que le chrome ne l'est pas (pas de surveillance réglementaire).

Les concentrations moyennes annuelles généralement relevées en proximité trafic sont comprises entre $1,74$ et $2,76 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ pour le nickel, et sont d'environ $0,4 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ pour l'arsenic.

Pour le chrome, des concentrations comprises entre $2,0$ et $4,1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ ont pu être relevées en proximité trafic.

7.3 Aldéhydes

Quatre polluants ont été hiérarchisés pour l'exposition respiratoire chronique, il s'agit de l'acétaldéhyde, de l'acroléine, du formaldéhyde et du propionaldéhyde par ordre décroissant dans le classement de hiérarchisation.

7.3.1 Informations générales

Le transport routier est la plus grande source d'aldéhydes (1^{er} contributeur) avec 43% des émissions totales.

7.3.2 Analyse qualitative des valeurs de référence

Concernant l'acétaldéhyde, il existe 3 VTR à seuil et 3 VTR sans seuil. L'US EPA a proposé une VTR à seuil de $9 \mu\text{g.m}^{-3}$ en se basant sur une étude par inhalation chez l'animal avec pour effet critique une dégénérescence de l'épithélium olfactif. Santé Canada a proposé une VTR à seuil de $390 \mu\text{g.m}^{-3}$ en se basant sur une étude par inhalation chez l'animal avec pour effet critique les lésions non néoplasiques dans l'épithélium olfactif nasal. L'OEHHA a proposé une VTR à seuil de $140 \mu\text{g.m}^{-3}$ en se basant sur une étude par inhalation chez l'animal avec pour effet critique des modifications inflammatoires, hyperplasiques et dégénératives nasales.

L'US EPA a proposé un ERU de $2,2 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$ en se basant sur une étude par inhalation chez l'animal avec pour effet critique des adénocarcinomes et carcinomes épidermoïdes nasaux. L'OEHHA a proposé un ERU de $2,7 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$ en se basant sur une étude par inhalation chez l'animal avec pour effet critique des carcinomes nasaux. Enfin, Santé Canada a proposé une $\text{CT}_{0,05}$ à 86mg.m^{-3} en se basant sur une étude par inhalation chez l'animal avec pour effet critique des adénocarcinomes et carcinomes épidermoïdes nasaux.

Concernant l'acroléine, il existe 3 VTR à seuil. L'US EPA a proposé une VTR à seuil de $2 \cdot 10^{-2} \mu\text{g.m}^{-3}$ en se basant sur une étude par inhalation chez l'animal avec pour effet critique des lésions nasales. L'OEHHA a proposé une VTR à seuil de $0,35 \mu\text{g.m}^{-3}$ en se basant sur une étude par inhalation chez l'animal avec pour effet critique des lésions de l'épithélium respiratoire. Santé Canada a proposé une VTR à seuil de $0,4 \mu\text{g.m}^{-3}$ en se basant sur une étude par inhalation chez l'animal avec pour effet critique des atteintes de l'épithélium respiratoire (désagrégation, nécrose, épaississement, desquamation et hyperplasie de l'épithélium respiratoire nasal). Des travaux d'expertise sont en cours au sein de l'Anses sur l'élaboration de valeurs guide de qualité d'air intérieur pour l'acroléine.

Concernant le formaldéhyde, l'expertise de l'Anses relative aux valeurs guide de qualité d'air intérieur avait retenu une VTR à seuil. L'ATSDR a proposé une VTR à seuil de $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ en se basant sur une étude humaine par inhalation avec pour effet critique des lésions histopathologiques nasales.

Concernant le propionaldéhyde, il existe une VTR à seuil de $8 \cdot 10^{-3} \text{mg.m}^{-3}$ proposée par l'US EPA en se basant sur une étude par inhalation chez l'animal avec pour effet critique une atrophie de l'épithélium olfactif.

7.3.3 Analyse qualitative des FE

Les facteurs d'émissions des aldéhydes reposent sur les mêmes analyses que les autres hydrocarbures individuels ou par famille (cf. 7.1.1.3). La qualité de leurs facteurs d'émission est en conséquence assez faible et ceux-ci n'intègrent pas ou mal l'évolution réglementaire des véhicules et les conditions de circulation par exemple.

7.3.4 Méthodes de mesure, surveillance et niveaux observés

L'INRS (fiche 001/V01/01 du 17/10/2007) indique que les 3 polluants proposés sont mesurables avec toutefois un risque de sous-estimation des quantités d'acroléine (dégradation rapide du dérivé d'acroléine sur le support et dans la solution de désorption).

Principe : la 2,4-dinitrophénylhydrazine (DNPH) présente sur le support réagit avec les aldéhydes pour former les hydrazones correspondant qui seront analysées en chromatographie liquide haute performance (HPLC).

Prélèvement : tube de verre contenant du gel de silice imprégné de DNPH ou tube à diffusion passive.

Analyse : HPLC – détection UV après désorption à l'acétonitrile.

Interférences : interférence possible avec l'acétone, en particulier pour l'acroléine.

Dans le cadre des travaux d'expertise en cours au sein de l'Anses sur l'élaboration de valeurs guides de qualité d'air intérieur pour l'acroléine, des recommandations sur les méthodes de mesure existantes seront formulées.

Les aldéhydes ne sont pas réglementés pour la qualité de l'air extérieur et ne sont donc pas l'objet d'une surveillance par les AASQA. Il n'existe donc pas de données recensées pouvant être proposées en proximité trafic.

7.4 Dioxines et furanes

Les dioxines et furanes sont en tête de la hiérarchisation pour la voie orale.

7.4.1 Informations générales

Dans les inventaires d'émission, le transport routier a une contribution limitée de 1,8% pour la famille des dioxines et furanes par rapport au secteur majoritaire qui est l'industrie manufacturière avec 73% des émissions totales.

7.4.2 Analyse qualitative des VTR

Pour les dioxines et furanes et certains polychlorobiphényles (PCB), l'approche par équivalence toxique a été développée dès la fin des années 90 en établissant des FET considérant que ces polluants ont une réponse toxique similaire à celle de la 2,3,7,8-tétrachlorodibenzodioxine (2,3,7,8 TCDD). Comme pour les HAP, l'approche par équivalence toxique est une approche par défaut basée sur la notion d'additivité des doses. La concentration de chaque dioxine est multipliée par son FET et les valeurs obtenues sont additionnées entre elles, la somme correspondant au TEQ (Total toxic equivalency).

L'EPA recommande l'approche par équivalence toxique pour la prise en compte de mélange pour la voie orale et reprend les FET proposés par l'OMS en 2005. Les FET proposés par l'OMS en 2005 sont présentés dans le Tableau XVI.

Tableau XVI : Facteur d'équivalence toxique (FET) proposé par l'OMS en 2005 et repris par l'US EPA dans ses recommandations pour l'évaluation des risques sur la santé pour les dioxines

Substance	TEF OMS 2005	Substance	TEF OMS 2005
2,3,7,8- tétrachlorodibenzodioxine 2,3,7,8- TCDD	1	2,3,4,7,8-Pentachlorodibenzofurane (2,3,4,7,8-PeCDF)	0,3
1,2,3,7,8-pentachlorodibenzodioxine (1,2,3,7,8 PCDD)	1	1,2,3,4,7,8-hexachlorodibenzofurane (1,2,3,4,7,8-HxCDF)	0,1
1,2,3,4,7,8-hexachlorodibenzodioxine (1,2,3,4,7,8-HxCDD)	0,1	1,2,3,6,7,8-hexachlorodibenzofurane (1,2,3,6,7,8-HxCDF)	0,1
1,2,3,6,7,8-hexachlorodibenzodioxine (1,2,3,6,7,8-HxCDD)	0,1	1,2,3,7,8,9-hexachlorodibenzofurane (1,2,3,7,8,9-HxCDF)	0,1
1,2,3,7,8,9-hexachlorodibenzodioxine (1,2,3,7,8,9-HxCDD)	0,1	2,3,4,6,7,8-hexachlorodibenzofurane (2,3,4,6,7,8-HxCDF)	0,1
1,2,3,4,6,7,8-heptachlorodibenzodioxine (1,2,3,4,6,7,8-HpCDD)	0,01	1,2,3,4,6,7,8-heptachlorodibenzofurane (1,2,3,4,6,7,8-HpCDF)	0,01
octachlorodibenzodioxine (OCDD)	0,0003	1,2,3,4,7,8,9-heptachlorodibenzofurane (1,2,3,4,7,8,9-HpCDF)	0,01
2,3,7,8- tétrachlorodibenzofurane (2,3,7,8-TCDF)	0,1	octachlorodibenzofurane (OCDF)	0,0003
1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzofurane (1,2,3,7,8-PeCDF)	0,03		

Concernant la 2,3,7,8-TCDD, il existe 2 VTR à seuil et 1 VTR sans seuil. L'ATSDR a proposé une VTR à seuil de $1.10^{-6} \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en se basant sur une étude par ingestion chez l'animal avec pour effet critique une atteinte du développement (altération du comportement social). L'US EPA a proposé une VTR à seuil de $7.10^{-7} \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en se basant sur une étude humaine (concentrations sériques) avec pour effet critique une atteinte de la fertilité.

L'OEHHA a proposé une VTR sans seuil de $130\ 000 (\text{mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1})^{-1}$ en se basant sur une étude par ingestion chez l'animal avec pour effet critique des adéno-carcinomes hépatocellulaires.

7.4.3 Analyse qualitative des FE

Les dioxines et furanes sont très rarement caractérisés à l'émission des véhicules. Les facteurs d'émissions reposent uniquement sur des spéciations différenciées entre véhicules légers Essence, Diesel et véhicules lourds. Les facteurs d'émissions sont donc de qualité faible. Les spéciations des dioxines et furanes ne sont disponibles que par famille dans la méthode COPERT IV : TeCDD (ou TCDD), PeCDD, HxCDD, HpCDD (dioxines) et TeCDF (ou TCDF), PeCDF, HxCDF et HpCDF (furanes), et la famille des octachlorodibenzodifuranes (OCDF, furanes) n'est pas renseignée dans la spéciation COPERT IV, hormis pour les PL.

7.4.4 Méthodes de mesure, surveillance et niveaux observés

Prélèvements : les dioxines et furanes peuvent être prélevés à l'aide de préleveurs haut volume de type DIGITEL DA-80. Compte tenu des faibles teneurs présentes dans l'air, il faut privilégier un débit de prélèvement conséquent et une durée d'échantillonnage suffisante.

Analyse : Les analyses de dioxines et furanes sont effectuées en utilisant un chromatographe capillaire haute résolution couplé à un spectromètre de masse haute résolution.

Les dioxines et furanes ne sont pas réglementés pour la qualité de l'air ambiant et ne font pas l'objet d'une surveillance généralisée sur le territoire national par les AASQA. Il n'existe donc pas de concentrations représentatives de la proximité routière.

7.5 Ammoniac

7.5.1 Informations générales

Les émissions du transport routier représentent environ 1% des émissions totales (2^{ème} contributeur); le secteur majoritaire étant l'agriculture et la sylviculture avec plus de 97 % des émissions totales.

7.5.2 Analyse qualitative des VTR

Concernant l'ammoniac, il existe 3 VTR à seuil. L'ATSDR a proposé une VTR à seuil de 0,1 ppm en se basant sur une étude humaine par inhalation avec pour effet critique des altérations de la fonction pulmonaire. L'OEHHA a proposé une VTR à seuil de 200 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en se basant sur une étude humaine par inhalation avec pour effet critique des altérations de la fonction pulmonaire et des irritations oculaire, cutané et respiratoire. Enfin, l'US EPA a proposé une VTR à seuil de 100 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en se basant sur une étude humaine par inhalation avec pour effet critique l'altération de la fonction pulmonaire.

7.5.3 Analyse qualitative des FE

Les facteurs d'émissions de NH_3 sont rarement mesurés à l'échappement jusqu'ici mais ne présentent pas de difficulté métrologique. Leur qualité est donc encore assez faible.

7.5.4 Méthodes de mesure, surveillance et niveaux observés

Analyseur automatique

L'ammoniac peut être suivi à l'aide d'un analyseur automatique : mesure par chimiluminescence intégrant un convertisseur du NH_3 en NO .

Tube à diffusion passive

Prélèvement : L'ammoniac peut être prélevé sur tube en polyéthylène microporeux imprégné d'acide phosphorique, le NH_3 étant alors piégé sous forme d'ion ammonium.

Analyse : En milieu alcalin, l'ion ammonium réagit avec le phénol et l'hypochlorite de sodium sous l'effet catalytique du cyanoferrate, en produisant de l'indophénol, qui est coloré en bleu. L'analyse est réalisée par lecture de l'absorbance à 635 nm.

L'ammoniac n'est pas réglementé pour la qualité de l'air ambiant et ne fait donc pas l'objet d'une surveillance généralisée sur le territoire national par les AASQA.

Il n'existe donc pas de concentrations représentatives de la proximité routière.

7.6 Modélisation du transfert des polluants dans l'environnement

Le calcul des risques sanitaires nécessite de calculer l'exposition aux polluants étudiés et, par conséquent, leurs concentrations dans l'environnement. Les concentrations des polluants dans l'atmosphère et leurs dépôts atmosphériques sur les surfaces (sol, végétation, etc.) peuvent être calculées au moyen de modèles numériques. Ces modèles appartiennent à deux grandes catégories : d'une part, les modèles qui utilisent les champs de vent et de turbulence atmosphérique en données d'entrée et, d'autre part, les modèles qui calculent l'écoulement atmosphérique (c'est-à-dire le champ de vent moyen et la turbulence).

La première catégorie de modèles est la plus utilisée pour les études d'impact d'infrastructures routières ; ces modèles sont généralement appelés modèles de dispersion atmosphérique. Certains modèles sont limités à la dispersion des polluants en bordure de route dans des situations relativement simples (par exemple, en terrain ouvert) ; d'autres peuvent traiter la dispersion des polluants dans des situations plus complexes telles qu'en milieu bâti (par exemple, rue-canyon). Les données d'entrée de ces modèles incluent les émissions des polluants (et en particulier du trafic routier à travers la connaissance des flux de trafic, des parcs routiers roulants, des vitesses de circulation et des taux de congestion), la météorologie, les concentrations de fond pour certains polluants (par exemple, les concentrations de fond d'ozone sont nécessaires pour calculer les concentrations de dioxyde d'azote) et la configuration géométrique de l'infrastructure routière et de son environnement proche. Certains modèles peuvent calculer les concentrations de fond conjointement avec la dispersion des polluants en proximité des sources, ce qui permet une meilleure représentation des interactions entre pollution de fond et de proximité ; ces modèles sont appelés modèles avec traitement en sous-maille ou modèles multi-échelles.

Pour des situations particulièrement complexes (par exemple, tête de tunnel), il peut être utile d'utiliser des modèles appartenant à la deuxième catégorie, c'est-à-dire des modèles de mécanique des fluides qui calculent l'écoulement atmosphérique de manière explicite ainsi que le transport et la dispersion des polluants par l'écoulement. Cependant, les temps de calcul des modèles de mécanique des fluides sont significativement plus élevés que ceux des modèles de dispersion atmosphérique.

Tous ces modèles peuvent calculer les flux de dépôts secs et humides sur les surfaces au moyen de paramétrisations de ces dépôts en fonction de la météorologie, du polluant et de la surface.

Le calcul des concentrations des polluants déposées sur le sol, la végétation et les eaux de surface et leur transfert dans la chaîne alimentaire peut être effectué avec des méthodes standard (par exemple, HHRAP, 2005) qui utilisent principalement des hypothèses par défaut et des paramètres de type générique. Pour des situations particulières, des hypothèses et des valeurs de paramètres plus réalistes peuvent être utilisées si des informations pertinentes pour ces situations sont disponibles.

8 Conclusions et recommandations du groupe de travail

- **Liste des polluants retenus**

Les polluants recommandés pour les études d'impact des infrastructures routières sont les suivants :

aigüe	Voie respiratoire	particules (PM ₁₀ et PM _{2,5}) dioxyde d'azote
chronique	Voie respiratoire	particules (PM ₁₀ et PM _{2,5}) dioxyde d'azote acétaldéhyde acroléine ammoniac arsenic benzène 1,3-butadiène chrome éthylbenzène formaldéhyde naphtalène nickel propionaldéhyde 16 HAP*
	Voie orale	16 HAP* famille des dioxines et furanes**

* 16 HAP recommandés : acénaphthène, acénaphtylène, 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

** Dioxines et furanes : EPA (2010) famille des tétrachlorodibenzodioxines (TCDD ou TeCDD), pentachlorodibenzodioxines (PeCDD), hexachlorodibenzodioxines (HxCDD), heptachlorodibenzodioxines (HpCDD), octachlorodibenzodioxines (OCDD), tétrachlorodibenzofuranes (TCDF ou TeCDF), pentachlorodibenzofuranes (PeCDF), hexachlorodibenzofuranes (HxCDF) et heptachlorodibenzofuranes (HpCDF).

- **Recommandations du groupe de travail concernant la réalisation des études d'impact pour certains polluants et familles de polluants**

Le groupe de travail rappelle l'intérêt des études quantitatives des risques sanitaires (EQRS) dans une approche prospective pour estimer les impacts résultant de projets d'infrastructures routières. Ces données permettraient d'informer la population des risques potentiels sur la santé.

Pour réaliser une telle évaluation des risques, il conviendrait de compléter les données disponibles par les actions suivantes :

- construire des valeurs toxicologiques de référence pour des expositions aiguë et chronique aux particules (PM₁₀ et PM_{2,5}) et au dioxyde d'azote (NO₂) pour la réalisation à terme d'évaluations quantitatives des risques sanitaires ;
- prendre en compte l'exposition par voie orale en considérant l'exposition aux poussières et au sol par voie orale suite au contact main-bouche pour les enfants ainsi que l'ingestion d'aliments issus de l'autoconsommation ;
- évaluer l'utilisation des produits phytosanitaires pour l'entretien des voiries et l'usage de fondants routiers à partir des informations locales représentant l'usage réel de ces produits.

Le groupe de travail formule les propositions suivantes par catégories de polluants pour la réalisation des études d'impact pour les infrastructures routières :

- Dans l'attente de VTR pour les particules (PM₁₀, PM_{2,5}) et le dioxyde d'azote (NO₂) :
 - Comparer les niveaux observés et les niveaux prévus après mise en place du projet d'infrastructure routière aux valeurs guides de l'OMS. Une comparaison avec les valeurs réglementaires pourrait être faite en accompagnement ;
 - Limiter la contribution de l'infrastructure routière en termes de concentrations estimées dans l'air à un pourcentage des valeurs guides ou valeurs réglementaires, à l'instar d'autres pays européens comme l'Autriche qui applique un pourcentage de 1 ou 3% de la valeur limite (Directive 2008/50/CE) selon les situations.
- Pour les HAP et dioxines et furanes :
 - Appliquer l'approche par équivalent toxique pour les évaluations des risques sur la santé :

Pour les HAP, l'approche par équivalence toxique est recommandée par l'INERIS pour les effets sans seuil pour les 2 voies d'exposition. Pour les effets à seuil, il s'agit d'une approche substance par substance.

Dans les évaluations quantitatives des risques sanitaires (EQRS) réalisées en France, il est généralement pris en compte les 16 HAP de l'US EPA avec l'application des facteurs d'équivalence toxique (FET) recommandés par l'INERIS. Dans la pratique, le naphthalène peut être pris à part à cause de ses propriétés chimiques (volatilité élevée) et du fait de VTR étayées disponibles. Dans la directive 2004/107/CE sur la qualité de l'air ambiant, au minimum sept HAP sont à surveiller dont six sont communs à la liste de l'US EPA et le benzo(j)fluoranthène.

Le groupe de travail propose donc la réalisation des EQRS selon l'approche par équivalence toxique pour les 16 HAP suivants : acénaphthène, acénaphthylène, 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

Dans les travaux d'expertise, des HAP hiérarchisés ne sont pas compris dans la liste des 16 HAP recommandés, il s'agit de 4 isomères du dibenzopyrène : dibenzo(a,l)pyrène, dibenzo(a,e)pyrène, dibenzo(a,h)pyrène, dibenzo(a,i)pyrène. Le CES recommande, compte tenu de la toxicité de ces isomères, l'acquisition de données complémentaires à l'émission et dans le milieu ambiant.

Pour les dioxines et furanes, l'approche par équivalence toxique pour la voie orale recommandée par l'US Environmental Protection Agency (US EPA) et l'OMS fait consensus.

• Recommandations pour la recherche

Le groupe de travail souligne le besoin d'améliorations des connaissances concernant les émissions issues des infrastructures routières. Les besoins les plus importants concernent les familles de HAP, dioxines et furanes dont l'absence ou les incertitudes sur les données d'émission ont amené à faire des choix par défaut.

Le groupe de travail recommande :

- de réaliser des campagnes de mesures représentatives de la diversité des infrastructures routières qui justifient d'une étude d'impact pour mieux documenter la contribution du trafic aux concentrations dans l'air et dépôts atmosphériques, notamment pour les HAP, dioxines et furanes ;
- de documenter des émissions pour les polluants non réglementés par la réalisation de mesures sur banc d'essai et *in situ* afin d'améliorer les outils de calculs des facteurs d'émission dans les situations suivantes :
 - à l'échappement ;
 - liées à l'usure, au fonctionnement et à l'entretien des véhicules ;
 - à la remise en suspension des particules déposées sur la route et des fondants routiers.

9 Bibliographie

- Aatmeeyata and Sharma M. (2010). Polycyclic aromatic hydrocarbons, elemental and organic carbon emissions from tire-wear." *Science of the Total Environment*. 408 (20): 4563-4568.
- ADEME-logiciel Impact-ADEME version 2.0, Emissions de polluants et consommation liées à la circulation routière, livret de présentation-Ref 4780.
- Afnor (2011). Matériel et produits d'entretien routier : fondants, solides ou liquides, pour le service hivernal des routes et voiries d'usages spécifiques, normalisation française XP P 98-181, Association française de normalisation, <http://www.afnor.org>.
- Amato, F., M. Pandofi, T. Moreno *et al.* (2011). Sources and variability of inhalable road dust particles in three European cities, *Atmos. Environ.*, 45, 6777-6787.
- Anderson HR, Atkinson R, Peacock JL, Marston L. *et al.* (2004) Meta-analysis of time series studies of particulate matter (PM) and ozone (O3). Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2004. 80 p. [consulté le 28/09/2011]. Disponible à partir de l'URL : http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/74731/e82792.pdf
- Anses (2007). Recommandations pour la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts. Rapport du groupe d'experts et annexes. 240 pages.
- Anses (2009). Emissions de dioxyde d'azote de véhicules diesel, Saisine Afsset n° 2006-009. 265 pages.
- Anses (2012). Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif au programme 2012 de surveillance des résidus de pesticides dans les aliments. 23 pages.
- Aphekom (2012). Summary report of the Aphekom project 2008-2011. Saint Maurice: InVS. 9 p.
- Azimi, S., V. Rocher, S. Garnaud, G. Varrault, D.R. Thevenot (2005). Decrease of atmospheric deposition of heavy metals in an urban area from 1994 to 2002 (Paris, France), *Chemosphere*, 61, 645-651.
- Ban-Weiss, G. A.; McLaughlin, J. P.; Harley, R. A.; Lunden, *et al.* (2008). Long-term changes in emissions of nitrogen oxides and particulate matter from on-road gasoline and diesel vehicles. *Atmos. Environ.* 42: 220-232.
- Ballester, F., Rodriguez, P., Iniguez, C., Saez, *et al.* (2006). Air pollution and cardiovascular admissions association in Spain: results within the EMECAS project, *J Epidemiol Community Health*, 60 (4) : 328-336.
- Ballester F, Rodriguez P, Iniguez C, Saez M, *et al.* (2006). Air pollution and cardiovascular admissions association in Spain: results within the EMECAS project. *J Epidemiol Community Health*. 60(4):328-336.
- Bartonova A, Clench-Aas J, Gram F, Gronskel KE, *et al.* (1999) Air pollution exposure monitoring and estimation. Part V. Traffic exposure in adults. *J Environ Monit* 1(4):337-340.
- Baum, M.M., J.A. Moss, S.H. Pastel, G.A. Poskrebyshev (2007). Hydrogen cyanide exhaust emissions from in-use motor vehicles, *Environ. Sci. Technol.*, 41, 857-862.
- Bell, M.L. (2012). Assessment of the Health Impacts of Particulate Matter Characteristics, Report N° 161, 70 pages, Health Effects Institute, Boston, Massachusetts, États-Unis.
- Bergvall, C., R. Westerholm (2009). Determination of highly carcinogenic dibenzopyrene isomers in particulate emissions from two diesel- and two gasoline-fuelled light-duty vehicles, *Atmos. Environ.*, 43, 3883-3890.
- Blok, J. (2005). "Environmental exposure of road borders to zinc." *Science of the Total Environment*. 348 (1-3): 173-190.

- Boldo, E., Medina, S., LeTertre, A., Hurley, F., *et al.* (2006) "Apehis: Health impact assessment of long-term exposure to PM(2.5) in 23 European cities", *Eur J Epidemiol.* 21(6): 449-458.
- Bond, S. W., T. Gül, *et al.* (2011). "Emissions of anthropogenic hydrogen to the atmosphere during the potential transition to an increasingly H2-intensive economy." *International Journal of Hydrogen Energy* 36(1): 1122-1135.
- Boothe VL, Shendell DG. (2008). Potential health effects associated with residential proximity to freeways and primary roads: review of scientific literature, 1999-2006. *J Environ Health* 70(8):33-36.
- Brugge D, Durant JL, Rioux C. (2007). Near-highway pollutants in motor vehicle exhaust: a review of epidemiologic evidence of cardiac and pulmonary health risks. *Environ Health* 6 : 23.
- Bukowiecki, N., P. Lienemann, *et al.* (2009). "Real-world emission factors for antimony and other brake wear related trace elements: Size-segregated values for light and heavy duty vehicles." *Environmental Science and Technology* 43(21): 8072-8078.
- Bukowiecki, N., P. Lienemann, *et al.* (2010). "PM10 emission factors for non-exhaust particles generated by road traffic in an urban street canyon and along a freeway in Switzerland." *Atmospheric Environment* 44(19): 2330-2340.
- Canagaratna, M. R., Timothy B. Onasch, Ezra C. Wood, Scott C. Herndon, *et al.* (2010). Evolution of Vehicle Exhaust Particles in the Atmosphere, *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 60:1192–1203.
- Caplain, I., F. Cazier, *et al.* (2006). "Emissions of unregulated pollutants from European gasoline and diesel passenger cars." *Atmospheric Environment* 40(31): 5954-5966.
- Cassadou S, Nicoulet I., Noppe J., Chiron M. *et al.* (2004). Sélection des agents dangereux à prendre en compte dans l'évaluation des risques sanitaires liés aux infrastructures routières. Rapport du groupe de travail. 78 pages + 174 pages d'annexe.
- CCFA (Comité national des constructeurs français d'automobile) (2007) Tableau de bord de l'automobile, édition n°13, 2007, disponible à <http://www.cdfa.fr/>
- CERTU (2006) Fourchettes de concentration de polluants dans l'air en fonction des typologies de sites rural / urbain / périurbain / trafic / industriel. 86 pages
- Charron, A., Harrison, R.M. (2009), Chapitre 5, Atmospheric nanoparticles, in *Environmental and Human Health Impacts of Nanotechnology*, J.R. Lead et E. Smith, direction d'ouvrage, Blackwell Publishing, Royaume-Uni.
- ChemRisk (2008). State of Knowledge Report for Tire Materials and Tire Wear Particles, Rapport technique rédigé par ChemRisk, Inc., Pittsburgh, Pennsylvanie et San Francisco, Californie, États-Unis, et DIK Inc., Hannovre, Allemagne, 42 pp..
- COPERT4 (2012). information générale, documentation, téléchargement : <http://www.emisia.com/copert/> (avril 2012)
- Davis, B.S., G.F. Birch (2011). Spatial distribution of bulk atmospheric deposition of heavy metals in metropolitan Sydney, Australia, *Water Air Soil Pollut.*, 214, 147-162.
- Décret n°2011-2019 du 29 décembre 2011 portant réforme des études d'impact des projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements
- Directive 85/337/CEE du Conseil, du 27 juin 1985, concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement
- Directive 1999/30/CE du 22 avril 1999 relative à la fixation de valeurs limites pour l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote et les oxydes d'azote, les particules et le plomb dans l'air ambiant
- Directive 2000/69/CE du 16 novembre 2000 concernant les valeurs limites pour le benzène et le monoxyde de carbone dans l'air ambiant
- Directive 2002/3/CE du 12 février 2002 relative à l'ozone dans l'air ambiant
- Directive 2008/50/CE du parlement européen et du conseil du 21 mai 2008, Journal officiel de l'Union européenne, L 152/1-44, 11 juin 2008.

- EEA (European Environment Agency) (2010). Impact of selected policy measures on Europe's air quality, EEA report No 8/2010, ISSN 1725-2237
- EPA (2002). Health Assessment Document For Diesel Engine Exhaust. EPA document # EPA/600/8-90/057F. National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC. <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=29060#Download> 669 pages
- EPA (2008). National Ambient Air Quality Standard, EPA document # EPA-452/R-08-008a, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina, États-Unis: http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/nox/data/20081121_NO2_REA_final.pdf
- EPA (2010a), Quantitative Health Risk Assessment for Particulate Matter, EPA document # EPA-452/R-10-005, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina, États-Unis ; http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/data/PM_RA_FINAL_June_2010.pdf.
- EPA (2010b). Recommended Toxicity Equivalence Factors (TEFs) for Human Health Risk Assessments of 2,3,7,8Tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin and Dioxin-Like Compounds. document # EPA/100/R 10/005, U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC 20460 Office of the Science Advisor Risk Assessment Forum.
- Fleurke F. and Koeman N. (2005). The impact of the EU air quality standards on the planning and autorisation of large scale infrastructure projects in the netherlands. *Journal of european environmental and planning law*. 2 (5) : 375-383.
- Friedman MS, Powell KE, Hutwagner L, Graham LM, *et al.* (2001). Impact of changes in transportation and commuting behaviors during the 1996 Summer Olympic Games in Atlanta on air quality and childhood asthma. *JAMA*. 285(7):897-905.
- Gietl, J.K., R. Lawrence, *et al.* (2010), « Identification of brake wear particles and derivation of a quantitative tracer for brake dust at a maor road. » *Atmospheric Environment* 44: 141-146.
- Gkatzoflias D., Ntziachristos L., Samaras (2007) Z.-COPERT IV Computer programme to calculate emissions from road transport-User Manual-ETC-ACC
- Gkatzoflias D., Kouridis C., Ntziachristos L. (2011). Description of new elements in COPERT IV v9.0- Emisia SA report http://www.emisia.com/download_file.html?file=COPERT4_v9_0.pdf
- Gkatzoflias D., Ntziachristos L. (2010). COPERT IV v8.0-Laboratory of applied thermodynamics, report 10.RE.0037.V1
- Harrison, R. M., J. Yin, *et al.* (2001). "Studies of the coarse particle (2.5-10µm) component in UK urban atmospheres." *Atmospheric Environment* 35(21): 3667-3679.
- Hedley A.J., Wong C.M., Thach T.Q., Ma S. *et al.* (2002). Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulphur content of fuel in Hong Kong: an intervention study. *Lancet* 360(9346):1646-1652.
- HEI (Health Effects Institute) (2010). Traffic-Related Air Pollution: A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure, and Health Effects, Special report 17 Boston, Massachussets: 386 p.
- Hesterberg, T. W., Bunn III W. B., Chase G. R., Valberg P. A., *et al.* (2006). A Critical Assessment of Studies on the Carcinogenic Potential of Diesel Exhaust. *Critical Reviews in Toxicology*, 36:727–776.
- HHRAP (2005). Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities, EPA530-R-05-006, Office of Solid Waste and Emergency Response, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., États-Unis.
- Hjortenkrans, D. S. T., B. G. Bergbäck, *et al.* (2007). "Metal emissions from brake linings and tires: Case studies of Stockholm, Sweden 1995/1998 and 2005." *Environmental Science and Technology* 41(15): 5224-5230.

INERIS (2003). Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs) - Evaluation de la relation dose-réponse pour des effets cancérigènes : Approche substance par substance (Facteur d'Equivalence Toxique-FET) et approche par mélanges / Evaluation de la relation dose-réponse pour des effets non cancérigènes : Valeurs Toxicologiques de Références (VTR). Verneuil-en-Halatte:

INERIS (2008). Evaluations des pesticides utilisés en bordure de voies de circulation routière. Rapport d'étude N° DRC-08-79914-10062-A. Présentation du projet au colloque de restitution du 11 & 12 mars 2009 Session 1 - Mieux connaître les usages de pesticides et les pratiques Les usages non-agricoles des pesticides : exemple de l'entretien des bordures de voiries, Aurélien GOUZY, Ineris (<http://www.observatoire-pesticides.gouv.fr/index.php?pageid=669>).

Johansson, C., M. Norman, *et al.* (2009). "Road traffic emission factors for heavy metals." *Atmospheric Environment* 43(31): 4681-4688.

Jakober, C. A., M. A. Robert, *et al.* (2008). "Carbonyl emissions from gasoline and diesel motor vehicles." *Environmental Science and Technology* 42(13): 4697-4703.

Katsouyanni, K., Samet, J. M., Anderson, H. R., Atkinson, R., *et al.* (2009). Air pollution and health: a European and North American approach (APHENA), *Res Rep Health Eff Inst.* 142 :5-90.

Kennedy, I. M. (2007) The health effects of combustion-generated aerosols. *Proc. Comb. Inst.* 31: 2757-2770.

Key, D., Baum M. M. *et al.* (2008). Significance of highly toxic secondary emissions from on-road vehicles. Conference Proceeding ACS National Meeting Book of Abstracts. New Orleans.

Kittelson D. (1998). Engines and Nanoparticles: A Review; *J. Aerosol Sci.* 29: 575-588.

Kittelson, D.B., Watts, W.F., Johnson, J.P., (2006a). On-road and laboratory evaluation of combustion aerosols - Part 1: Summary of diesel engine results. *Journal of Aerosol Science.* 37: 913-930.

Kittelson, D.B., Watts, W.F., Johnson, J.P., Schauer, J.J., *et al.* (2006b). On-road and laboratory evaluation of combustion aerosols - Part 2: Summary of spark ignition engine results. *Journal of Aerosol Science* 37, 931-949.

Kleeman, M. J., S. G. Riddle, *et al.* (2008). "Lubricating oil and fuel contributions to particulate matter emissions from light-duty gasoline and heavy-duty diesel vehicles." *Environmental Science and Technology* 42(1): 235-242.

Kousoulidou, M., Ntziachristos, L., Mellios, G., Samaras, Z. (2008). Road-transport emissions projections to 2020 in European urban environments, *Atmos. Environ.*, 42, 7465-7475.

Kreider, M. L., J. M. Panko, *et al.* (2010). "Physical and chemical characterization of tire-related particles: Comparison of particles generated using different methodologies." *Science of the Total Environment* 408(3): 652-659.

Kummer, U., J. Pacyna, *et al.* (2009). "Assessment of heavy metal releases from the use phase of road transport in Europe." *Atmospheric Environment* 43(3): 640-647.

Kupiainen, K. J. and L. Pirjola (2011). "Vehicle non-exhaust emissions from the tyre-road interface - effect of stud properties, traction sanding and resuspension." *Atmospheric Environment* 45(25): 4141-4146.

Landis, M.S., C.W. Lewis, *et al.* (2007). « Ft. McHenry tunnel study: Source profiles and mercury emissions from diesel and gasoline powered vehicles." *Atmospheric Environment* 41: 8711-8724.

Larrieu, S., Jusot, J. F., Blanchard, M., Prouvost, H., *et al.* (2007) Short term effects of air pollution on hospitalizations for cardiovascular diseases in eight French cities: the PSAS program, *Sci Total Environ.* 387 (1-3): 105-112.

Legreid, G., Reimann S., Steinbacher M., Staehelin J., *et al.* (2007). Measurements of OVOCs and NMHCs in a Swiss highway tunnel for estimation of road transport emissions, *Environ. Sci. Technol.* 41 : 7060-7066.

Legret, M. and C. Pagotto (2006). "Heavy metal deposition and soil pollution along two major rural highways." *Environmental Technology* 27(3): 247-254.

- Lenschow, P., H. J. Abraham, *et al.* (2001). "Some ideas about the sources of PM10." *Atmospheric Environment* 35(SUPPL. 1): S23-S33.
- Limbeck, A., C. Puls, *et al.* (2007). "Platinum and palladium emissions from on-road vehicles in the Kaisermühlen tunnel (Vienna, Austria)." *Environmental Science and Technology* 41(14): 4938-4945.
- Matti Maricq, M. (2007). "Chemical characterization of particulate emissions from diesel engines: A review." *Journal of Aerosol Science* 38(11): 1079-1118.
- MEDDTL (2012). Viabilité hivernale, Les propriétés physiques des divers produits http://www.viabilite-hivernale.equipement.gouv.fr/article.php?id_article=4286.
- Meister K, Johansson C, Forsberg B. (2011). Estimated Short-Term Effects of Coarse Particles on Daily Mortality in Stockholm, Sweden. *Environ Health Perspect.* 120 (3) : 431-436.
- Morawska, L., Ristovski, Z., Jayaratne, E.R., Keogh, D.U., Ling, X. (2009), Ambient nano and ultrafine particles from motor vehicle emissions, *Atmos. Environ.*, 42, 8113-8138.
- Pay, M.T., P. Jiménez-Guerrero, J.M. Baldasano (2011). « Implementation of resuspension from paved roads for the improvement of CALIOPE qir quality system in Spain », *Atmospheric Environment* 45: 802-807.
- Norme NF EN 12341 Janvier 1999 Qualité de l'air - Détermination de la fraction MP10 de matière particulaire en suspension - Méthode de référence et procédure d'essai *in situ* pour démontrer l'équivalence à la référence de méthodes de mesurage.
- Norme NF EN 15549 Juillet 2008 Qualité de l'air - Méthode normalisée pour le mesurage de la concentration du benzo[a]pyrene dans l'air ambiant
- Norme NF EN 14211 Juillet 2005 Qualité de l'air ambiant - Méthode normalisée pour le mesurage de la concentration en dioxyde d'azote et monoxyde d'azote par chimiluminescence
- Ntziachristos L., Samaras Z. Methodology for the calculation of exhaust emissions- SNAPs 0701 070500, NFRs 1A3bi-iv-EMEP, EEA emission inventory guidebook 2009, updated june 2010, published by EEA (European Environmental Agency).
- OMS, Organisation mondiale de la santé - World Health Organisation (2005a) *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*, WHO, Geneva, WHO/SDE/PHE/OEH/06.02. Disponible à partir de l'URL : http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf
- OMS, Organisation mondiale de la santé - World Health Organisation. (2005b) Health effects of transport-related air pollution. Copenhagen: WHO-Regional Office for Europe; 2005. 205 p.
- OMS, Organisation mondiale de la santé - World Health Organisation. (2011). Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe. Copenhagen: WHO-Regional Office for Europe. 126 p.
- Parache V., Maurau S., Mercat C. (2011) Enquêtes alimentaires pour l'évaluation des impacts chimiques et dosimétriques à proximité de sites nucléaires. *Environnement, Risques & Santé.* 10 (2) : 105-19.
- Pope, C. A., III, Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., *et al.* (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution, *JAMA.* 287 (9): 1132-1141.
- Pope, C. A., III, Burnett, R. T., Thurston, G. D., Thun, M. J., *et al.* (2004). Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. *Circulation*, 109 (1): 71-77.
- Pope C.A. , III, Dockery D.W. (2006) Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *J Air Waste Manag Assoc.* 56(6):709-742.
- Promeyrat, S. (2001). Contribution à l'étude de la pollution atmosphérique autoroutière – caractérisation des flux de deposition de la contamination métallique de l'environnement de proximité, Thèse, Université de Metz.

- Querol, X., A. Alastuey, *et al.* (2004). "Levels of particulate matter in rural, urban and industrial sites in Spain." *Science of the Total Environment* 334-335: 359-376.
- Ramanathan, V.; Carmichael, G. (2008). Global and regional climate changes due to black carbon. *Nature Geoscience*. 1: 221-227.
- Riddle, S. G., C. A. Jakober, *et al.* (2007). "Large PAHs detected in fine particulate matter emitted from light-duty gasoline vehicles." *Atmospheric Environment* 41(38): 8658-8668.
- Règlement n°1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges, modifiant et abrogeant les directives 67/548/CEE et 1999/45/CE et modifiant le règlement n° 1907/2006.
- Roustan, Y., Pausader, M., Seigneur, C. (2011). Estimating the effect of on-road vehicle emission controls on future air quality in Paris, France, *Atmos. Environ.*, 45, 6828-6836.
- Sabin, L.D., Lim J.H., Venezia M.T., Winer A.M., *et al.* (2006). Dry deposition and resuspension of particle-associated metals near a freeway in Los Angeles, *Atmos. Environ.*, 40, 7528-7538.
- Samet JM. (2007) Traffic, air pollution, and health. *Inhal Toxicol* 19(12):1021-1027.
- Samoli, E., Peng, R., Ramsay, T., Pipikou, M., *et al.* (2008). Acute effects of ambient particulate matter on mortality in Europe and North America: results from the APHENA study, *Environ Health Perspect.* 116 (11): 1480-1486.
- Schreck E., Foucault Y., Sarret G., Sobanska S. *et al.* (2012). Metal and metalloid foliar uptake by various plant species exposed to atmospheric industrial fallout: Mechanisms involved for lead. *Sci Total Environ.* 427-428 : 253–262
- Schneider, J., Kirchner U., Borrmann S., Vogt R., *et al.* (2008). *In situ* measurements of particle number concentration, chemically resolved size distributions and black carbon content of traffic-related emissions on German motorways, rural roads and in city traffic, *Atmos. Environ.*, 42 (18), 4257–4268.
- Seigneur, C. (2009). Current understanding of ultra fine particulate matter emitted from mobile sources, *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 59, 3-17.
- Sétra (2009). Emissions routières de polluants atmosphériques. Courbes et facteurs d'influence. Note d'information 92 Economie, Environnement, Conception. 16 pages.
- Sétra (2011). L'impact des fondants routiers sur l'environnement – état des connaissances et pistes d'action, Note d'information, mars 2011, Service d'étude sur les transports, les routes et leurs aménagements.
- Sharma, R.K., M. Agrawal, F.M. Marshall (2008). Atmospheric deposition of heavy metals (Cu, Zn, Cd and Pb) in Varanasi City, India, *Environ. Monit. Assess.*, 142, 269-278.
- Spengler, J., Lwebuga-Mukasa, J., Vallarino, J., Melly, S., Chillrud, S., Baker, J., Minegishi, T. (2011). Air toxics exposure from vehicle emissions at a U.S. border crossing: Buffalo Peace Bridge Study, Research Report N° 158, 164 pages, Health Effects Institute, Boston, Massachusetts, États-Unis.
- Stafoggia, M., Faustini, A., Rognoni, M., Tessari, R., *et al.* (2009). Air pollution and mortality in ten Italian cities. Results of the EpiAir Project. *Epidemiol Prev.* 33 (6) Suppl 1: 65-76.
- TNO (2009). On-road NOx emissions of Euro-V trucks. TNO report. MON-RPT-033-DTS-2009-03840. 19 pages.
- Tobias A, Perez L, Diaz J, Linares C, *et al.* (2011). Short-term effects of particulate matter on total mortality during Saharan dust outbreaks: a case-crossover analysis in Madrid (Spain). *Sci Total Environ* 412-413386-389.
- Thorpe, A. J., R. M. Harrison, *et al.* (2007). "Estimation of particle resuspension source strength on a major London Road." *Atmospheric Environment* 41(37): 8007-8020.
- Thorpe, A., R.M. Harrison (2008). "Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road-traffic: a review." *Science of the Total Environment* 400:270-282.

Umweltbundesamt (2005). Leitfaden UVP and IG-L Hilfestellung im Umgang mit der Überschreitung von Immissionsgrenzwerten und Luftschadstoffen in UVP-Verfahren. En allemand. 51 pages.

Viard, B., F. Pihan, S. Promeprat, J.-C. Pihan (2004). Integrated assessment of heavy metal (Pb, Zn, Cd) highway pollution: bioaccumulation in soil, Graminaceae and land snails, *Chemosphere*, 55, 1349-1359.

Winther, M., Slentø, E. (2010). Heavy metal emissions from Danish road transport. NERI Technical Report no.780. Risoe, Denmark, p.99.

Base de données

Furetox - valeurs toxicologiques de référence [base de données en ligne] mise à jour hebdomadaire. En ligne : <http://www.furetox.fr/home.html> [dernière consultation en décembre 2011]

AirBase_FR_v5 – données de concentrations dans l'air [base de données en ligne] site de l'agence européenne de l'environnement <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/airbase-the-european-air-quality-database-3> [dernière consultation en juin 2012]

ANNEXES

Annexe 1 : Lettre de saisine



2010 -SA- 0 2 8 3

MINISTÈRE DE LA SANTÉ
ET DES SPORTS

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE,
DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA MER

Direction générale de la santé

Direction générale
de la prévention des risques

Paris le 26 OCT. 2010

Le Directeur général de la santé

à Le Directeur général de la prévention des risques

à

**Monsieur le Directeur général
de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de
l'alimentation, de l'environnement et du travail**
27-31 avenue du Général Leclerc
94701 Maisons-Alfort cedex

ARRIVÉE DG

DATE : 26 NOV. 2010

N° COURRIER : 10-1257

Saisine → 2011

Objet : Sélection des polluants à retenir dans les évaluations des risques sanitaires réalisées dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières

P.J. : - Circulaire interministérielle du 25 février 2005 (« air et santé ») et note méthodologique annexée
- Comptes-rendus de réunions et documents supports des travaux de révision de la circulaire « air et santé » et de sa note méthodologique

La circulaire interministérielle EQUIPEMENT/SANTÉ/ÉCOLOGIE du 25 février 2005 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 (dite circulaire « air et santé »), et la note méthodologique qui lui est annexée, ont pour objectif de fournir des indications méthodologiques sur l'élaboration et le contenu attendu des études d'impact des infrastructures routières en ce qui concerne les effets sur la santé de la pollution de l'air. Ces documents de cadrage, destinés aux maîtres d'ouvrages de l'État en charge des projets d'infrastructures routières, constituent par ailleurs une aide à l'examen des études d'impact pour les agences régionales de santé (ARS) et les directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL). La note méthodologique peut le cas échéant être portée à la connaissance d'autres maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre susceptibles de réaliser des projets routiers sous leur responsabilité. Lors de l'élaboration de ces documents et compte tenu des incertitudes existantes encore sur le volet « estimation des effets sur la santé de la pollution de l'air générée par le trafic routier » dans les études d'impact de projets routiers ainsi que du faible nombre d'études en la matière, il avait été décidé d'en évaluer la mise en œuvre dans un délai de trois ans afin d'y apporter les corrections et compléments éventuellement nécessaires. Au vu des retours d'expérience des centres d'études techniques de l'équipement (Cete), en tant que maîtres d'œuvre des directions départementales et régionales en charge de l'équipement pour la réalisation des dossiers d'études d'impact d'infrastructures routières, des directions départementales et régionales des affaires sanitaires et sociales (DDASS-DRASS), du



.../...

commissariat général au développement durable (CGDD) et de la direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM) du ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer (MEEDDM), la révision de la circulaire du 25 février 2005 et de sa note méthodologique a été actée lors d'une première rencontre le 27 mai 2009 entre les directions cosignataires de ce texte. Pour la révision de ces documents, il a été décidé de constituer un groupe plénier et des sous-groupes de travail thématiques (les éléments de cadrage et les comptes-rendus de réunions relatifs au groupe plénier et aux sous-groupes de travail sont joints au présent courrier).

Un des sous-groupes thématique (le « GT 2 ») est chargé de réviser la liste actuelle des polluants à retenir dans les évaluations des risques sanitaires (ERS) réalisées dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières. La liste de 16 polluants qui est recommandée dans la note méthodologique est issue du rapport d'un groupe de travail piloté par l'InVS, intitulé "Sélection des agents dangereux à prendre en compte dans l'évaluation des risques sanitaires liés aux infrastructures routières" (Cf. pièces jointes). Ce travail nécessiterait une mise à jour pour tenir compte des nouvelles connaissances en matière d'émissions polluantes du trafic routier (émissions à l'échappement, usure des pneus, entretien des voies,...), d'estimations des concentrations atmosphériques en polluants émis, directement ou non, par le trafic routier et de toxicologie de ces polluants, et de toute donnée utile à l'estimation des effets sur la santé associés à la pollution atmosphérique générée par les infrastructures routières. Cette mise à jour serait à réaliser en partenariat avec l'Ademe qui dispose de données récentes sur les émissions polluantes à l'échappement et hors échappement et avec l'Institut de veille sanitaire (InVS).

Dans ce contexte, un appui scientifique et technique est sollicité auprès de votre agence afin de :

1. Procéder à une analyse des polluants résultant, directement ou non, des émissions du trafic routier et pouvant présenter un danger pour la santé humaine.
2. sélectionner parmi ces polluants, ceux qui, au regard des émissions, des concentrations atmosphériques et des données toxicologiques, seraient à retenir pour l'analyse des effets sur la santé dus à la pollution atmosphérique générée par les infrastructures routières, en précisant, à chaque fois, la(les) voie(s) et durée(s) d'exposition, la(les) population(s) cible(s) à considérer, et fournir la liste des polluants qui pourraient être retenus dans les ERS réalisées dans le cadre des études d'impact.
3. participer aux travaux du GT 2 et échanger, au fur et à mesure de l'avancée de ce travail bibliographique et d'analyse, avec les autres membres de ce sous-groupe.

Nous vous remercions de nous faire parvenir, dans les meilleurs délais, une note sur l'organisation de ces travaux qui idéalement seraient à démarrer en 2010 pour un rendu avant fin 2011.

Le Directeur général de la santé



Pr. Didier HOUSSIN

Le Directeur général
de la prévention des risques



Laurent MICHEL

Copie : Direction générale du travail (DGT), Direction générale de l'agriculture (DGAL), Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF), Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM), Direction générale de l'énergie et du climat (DGE), Commissariat général au développement durable (CGDD), Ademe, InVS.

Annexe 2 : Compte rendu de l'audition du CERTU et du Sétra



Direction de l'évaluation des
risques

Groupe de travail « Infrastructures Routières »

**Extrait - compte rendu de la réunion du 04/07/2011 (10h00
– 17h00)**



5. Révision de la note méthodologique Air et Santé - Retour d'expérience

Fabienne Marseille du CERTU (centre d'étude des réseaux, des transports et de l'urbanisme) et Anne-Laure Badin du SETRA (service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements) rejoignent la séance. Un tour de table est proposé pour que chaque intervenant se présente.

Il est présenté le retour d'expérience issu de la capitalisation de différents travaux :

- Études réalisées par le CETE Nord Picardie et le CETE de Lyon
- Notes de la DGS et du CGDD

Le support powerpoint de la présentation est disponible dans le fond documentaire de la séance.

Discussion

⇒ La prise en compte de l'ensemble des axes qui voient leur trafic évoluer de $\pm 10\%$ du trafic conduit à des domaines d'étude qui peuvent être très vastes. Cela pose des questions par rapport aux incertitudes du modèle utilisé pour la prévision du trafic. Un expert du groupe demande pourquoi les évolutions à la baisse du trafic sont aussi considérées dans le domaine d'étude et pas uniquement la croissance du trafic. Un auditionné indique que cette approche permet de présenter les évolutions positives et négatives induites par le projet. Cela peut être important dans le cas de contournements d'agglomération ou le projet peut avoir un impact sur la qualité de l'air et l'exposition des populations positif qui ne sera pas pris en compte en étudiant uniquement le tracé du projet. Un expert du groupe précise que cette dimension (améliorations de la qualité de l'air à certains endroits, dégradation à d'autres) n'est pas réellement considérée dans la partie Evaluation des risques sanitaires, qui prend en compte uniquement l'estimation des niveaux de concentrations maximales sur la zone d'étude et moyennes à l'échelle globale.

Un expert du groupe demande si les évolutions par rapport à l'urbanisation des zones proches des axes routiers (démarche locale type PLU) sont prises en compte pour quantifier la croissance du trafic et la population exposée.

Un expert du groupe répond que cela n'est pas pris en compte dans l'évaluation des risques sanitaires, notamment l'évolution possible de la population exposée. De plus, il décrit rapidement les scénarios d'exposition souvent considérés dans l'évaluation des risques sanitaires. Pour l'adulte, 30 ans est souvent retenu comme durée d'exposition, d'après une étude de 1998 (Nedellec, 1998) en zone semi-urbaine ayant montré que 90% de la population déménage au bout de 30 ans. Parfois c'est la durée de vie entière, 70 ans, qui est retenue comme durée d'exposition.

⇒ Il ressort du retour d'expérience que les préoccupations de la population sont à une échelle locale vis-à-vis de la pollution atmosphérique et des effets sur la santé alors que les services en charge des dossiers travaillent à l'échelle globale de l'étude.

⇒ Au niveau des substances prises en compte dans l'évaluation des risques sanitaires, la diapositive suivante résume les retours capitalisés :

Certu **Un très grand nombre de polluants**

Tableau 4 : Substances recommandées pour leur prise en compte dans les évaluations de risque sanitaire dans le cadre d'études d'impact d'infrastructures routières

Substance	Exposition aiguë	Exposition chronique par inhalation, effets cancérigènes	Exposition chronique par voie orale, effets cancérigènes	Exposition chronique par inhalation, effets non cancérigènes	Exposition chronique par voie orale, effets non cancérigènes
Acroléine	X			X	
Dioxyde d'azote	X			X	
Dioxyde de soufre	X			X	
Benzène	X	X		X	
Particules diesel		X		X	
Chlorure		X			X
Sensibilisant		X		X	
1,1-benzène		X		X	
acroléine		X		X	
Nickel		X		X	X
Cadmium		X		X	X
Hexachlorobenzène		X	X		
Arôme		X	X		X
Plomb				X	X
Mercur				X	X
Baryum				X	X

Différentes voies et durées d'exposition traitées
Problème de lisibilité :
 .Pour les maîtres d'ouvrage,
 .Pour le public

VTR
Mesure ou modélisation
Choix non pertinent

Un impact sanitaire important pour certains polluants dès les concentrations de fond

⇒ L'Anses demande s'il y a des attentes particulières au niveau de la mise à jour des VTR qui pourrait être réalisée dans le cadre de ces travaux d'expertise. Un audité indique qu'il a été identifié un organisme en charge de la mise à jour régulière de ces valeurs ce qui évite que des choix soient faits sur chaque dossier.

Si des valeurs sont utilisées dans le cadre des travaux de l'Anses, il serait opportun qu'elles soient reprises pour l'évaluation des risques sanitaires.

⇒ Un expert du groupe demande si la prise en compte des valeurs réglementaires serait utile pour le dossier Air. Un audité précise qu'une comparaison des niveaux de concentration avec les valeurs réglementaires est réalisée dans le dossier environnement.

Pour les situations où le niveau de bruit de fond est déjà supérieur à la VTR, une démarche proposée dans un autre cadre considérant que le projet ne doit pas engendrer plus de 10% par rapport au niveau initial est présentée par un expert du groupe. Un audité indique que le dossier présente actuellement la situation de référence sans projet et avec projet.

Des problèmes pour la mesure ou la modélisation des niveaux de concentrations de l'acroléine, les particules diesel et le mercure (listé seulement dans les fondants routiers) ont été rapportés dans le cadre du retour d'expérience. La faisabilité de la mesure est une information très attendue pour la mise à jour des substances.

En terme de gestion, il est présenté la démarche proposée pour les sites et sols pollués et celle en cours de discussion pour les installations classées au niveau du ministère chargé de l'écologie qui reposent dans un premier temps sur la comparaison avec les valeurs réglementaires. Si un dépassement de ces valeurs est constaté, cela déclenche la mise en œuvre de mesures de gestion pour améliorer la situation.

Pour conclure cette audition, l'Anses remercie les auditées pour leur intervention et souligne l'importance du retour d'expérience sur la première liste de substances pour les réflexions du GT de l'Anses.

Annexe 3 : Synthèse des conclusions du rapport du « Health Effects Institute » intitulé « Traffic-related air pollution : a critical review of the literature on emissions, exposure, and health effects » (2010)

Effets cardiovasculaires

Evaluation de la causalité de la relation entre exposition au trafic et mortalité/morbidité cardio vasculaire
Toutes causes de mortalité <ul style="list-style-type: none"> • Preuves « possibles mais non suffisantes » de l'existence d'une relation causale²⁹
Morbidité cardiovasculaire
Physiologie <ul style="list-style-type: none"> • Preuves « possibles mais non suffisantes » de l'existence d'une relation causale • Bruit et stress non évalués
Infarctus aigu du myocarde et athérosclérose <ul style="list-style-type: none"> • Preuves « possibles mais non suffisantes » de l'existence d'une relation causale • Peu d'études de bonne qualité

Le tableau synthétise les conclusions des études épidémiologiques sur les éventuelles relations causales entre pollution du trafic et atteintes cardio-vasculaires. Les auteurs soulignent que le manque d'études animales et épidémiologiques examinant les effets cardiovasculaires liés spécifiquement aux émissions du trafic. Cependant, sur la base des études chez l'Homme, l'animal et *in vitro* utilisant des particules diesel, les auteurs concluent que les données toxicologiques récentes suggèrent qu'une exposition à ces polluants, considérés comme une part de l'émission du trafic (incluant des particules ambiantes ou générées en laboratoire et les émissions diesel et essence à l'échappement), altèrent les fonctions cardio-vasculaires. Le nombre d'études impliquant des volontaires humains exposés au mélange réel issu du trafic est faible, les résultats ne sont pas cohérents et se limitent à des examens physiologiques ou cellulaires. Par conséquent, les résultats issus de ces études ne sont pas convaincants. Néanmoins, les études chez l'Homme incluant les études épidémiologiques indiquent des relations causales entre exposition aux particules et atteintes cardio-vasculaires. Bien que les études animales analysées isolément ne permettent pas de conclure sur une relation causale entre émissions du trafic et l'incidence des pathologies cardio-vasculaires, les résultats convergents des études épidémiologiques et expérimentales suggèrent un rôle causal des polluants issus du trafic avec la morbidité et la mortalité cardio-vasculaires. Cependant, il n'est pas envisageable à l'heure actuelle de transposer ces résultats à l'échelle individuelle, ni de définir précisément les composantes spécifiques des émissions du trafic à l'origine de ces atteintes cardio-vasculaires.

Effets respiratoires

Evaluation de la causalité de la relation entre exposition au trafic et symptômes respiratoires
Enfants
Incidence de l'asthme <ul style="list-style-type: none"> • Preuves « possibles mais non suffisantes » à « suffisantes » de l'existence d'une relation causale
Les conclusions dépendent du poids accordé à la cohérence et la précision des résultats

²⁹ « suggestive but not sufficient » to infer causal association

<p>Prévalence de l'asthme</p> <ul style="list-style-type: none"> • Preuves « possibles mais non suffisantes » à « suffisantes » de l'existence d'une relation causale <p>Exacerbation de symptômes respiratoires chez les enfants avec ou sans asthme</p> <ul style="list-style-type: none"> • Preuves « suffisantes » pour l'existence d'une relation causale liée à l'exacerbation de l'asthme³⁰ • Preuves « inadéquates et insuffisantes » pour l'existence d'une relation causale concernant les enfants sans asthme³¹ <p>Fréquentation des services de santé pour problèmes respiratoires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Preuves « inadéquates et insuffisantes » pour l'existence d'une relation causale
<p>Adultes</p> <p>Asthme et symptômes respiratoires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Preuves « inadéquates et insuffisantes » pour l'existence d'une relation causale concernant l'asthme • Preuves « possibles mais non suffisantes » de l'existence d'une relation causale concernant l'exacerbation des symptômes respiratoires • Preuves « inadéquates et insuffisantes » pour l'existence d'une relation causale concernant la fréquentation des services de santé

Le tableau synthétise les conclusions du HEI suite à l'analyse des études épidémiologiques sur l'asthme et les symptômes respiratoires pour les adultes et les enfants. Les données concernant l'adulte sont très limitées. Les études indiquent que l'exposition à des composantes de la pollution du trafic induit des réponses inflammatoires aiguës chez les humains en bonne santé et accroît les réponses allergiques chez les sujets allergiques asthmatiques et les modèles animaux. Cependant, les études expérimentales n'exposent pas les animaux à la pollution du trafic actuel, ceci limitant *de facto* l'interprétation des résultats. Les auteurs recommandent de réaliser des études *in vivo* et *in vitro* en utilisant plus directement le mélange complexe issu de la pollution du trafic afin de clarifier précisément le niveau de preuves. Néanmoins, il est à noter que les quelques études d'exposition chez l'homme dans lesquelles les individus ont été exposés à une pollution du trafic réel, tendent à indiquer que les sujets asthmatiques semblent plus sensibles aux effets associés à de telles expositions. Cependant, dans les études exposant des humains à des particules ambiantes concentrées issues d'un environnement non urbain, la contribution relative des composantes du trafic à l'exposition aux particules ambiantes concentrées n'a pas été spécifiquement mesurée. Par ailleurs, les expositions aux particules ambiantes concentrées sont difficilement extrapolables aux expositions du trafic puisque les particules ambiantes concentrées incluent les polluants issus ou non du trafic. Au final, les résultats des études contrôlées chez l'Homme aux échappements diesel sont difficilement interprétables.

Lorsque les données épidémiologiques et toxicologiques sont analysées ensemble, il semble exister une relation causale entre exposition à la pollution de l'air issue du trafic, exacerbation de l'asthme et de certains symptômes respiratoires. Cependant, le manque de données toxicologiques (au niveau physiologique, cellulaire et moléculaire) basées sur des expositions humaines et animales à une pollution réelle au trafic et les incertitudes associées à l'évaluation de

³⁰ « sufficient » to infer a causal association

³¹ « inadequate and insufficient » to infer a causal association

l'exposition en épidémiologie ne permettent pas de conclure actuellement sur une causalité pour tous les symptômes respiratoires à tous les âges.

Atteinte de la fonction pulmonaire et broncho pneumopathie obstructive chronique (BPCO)

Evaluation de la causalité de la relation entre exposition au trafic et fonction pulmonaire et BPCO
Fonction pulmonaire <ul style="list-style-type: none"> • Preuves « possibles mais non suffisantes » à « suffisantes » de l'existence d'une relation causale suite à une exposition à court et long termes
BPCO <ul style="list-style-type: none"> • Preuves « inadéquates et insuffisantes » pour l'existence d'une relation causale

Il n'existe pas assez d'études pour se prononcer sur une relation entre BPCO et la pollution ambiante issue du trafic. Les auteurs se sont donc concentrés sur les études expérimentales et épidémiologiques traitant de la fonction pulmonaire. En termes de toxicologie, les données limitées issues d'études contrôlées chez l'Homme indiquent une réduction du volume maximal expiré en 1 seconde (VEF-1) et une augmentation de l'inflammation sans que ces deux paramètres soient liés. Aucune donnée n'est disponible chez l'animal. Bien que l'exposition aux particules issues de l'échappement diesel soit associée à une hyperréactivité des voies respiratoires, les effets sur la fonction pulmonaire ont été rarement évalués. Une inflammation des voies respiratoires conduit certainement à une altération des fonctions pulmonaires (par exemple après une exposition directe à la fumée de cigarette) après une exposition à court et à long termes. Cette inflammation a été observée dans des études contrôlées chez l'Homme utilisant l'ozone, les particules et les particules issues de l'échappement diesel. Néanmoins, en l'absence d'études d'exposition réelle au trafic conduites chez l'Homme ou l'animal, aucune déduction ne pourra être avancée sur le rôle, s'il existe, des expositions au trafic sur la fonction pulmonaire.

Au final, les données disponibles en épidémiologie et en expérimentation animale sont trop limitées pour permettre de pouvoir se prononcer sur une relation causale entre exposition chronique à la pollution du trafic et l'altération des fonctions pulmonaires chez les adultes ou l'occurrence de BPCO. Les études relatives aux particules ambiantes concentrées n'indiquent aucun effet à court terme sur la fonction pulmonaire. Bien que les études épidémiologiques suggèrent des effets sur la fonction pulmonaire liés à une exposition chronique pour les adolescents et les jeunes adultes, les données toxicologiques sont trop limitées pour expliquer les mécanismes liés à ces observations.

Allergie respiratoire chez les non asthmatiques

Les données toxicologiques indiquent un fort niveau de preuves mécanistiques concernant des relations entre les particules diesel, composantes de la pollution du trafic, et les réactions allergiques par l'intermédiaire des IgE ainsi que des résultats positifs pour des relations entre l'exposition au dioxyde d'azote et une réponse tardive aux allergènes. Toutefois, les résultats issus des études épidémiologiques sont contradictoires et il est difficile de se prononcer sur la pertinence des études contrôlées chez l'Homme (souvent des instillations nasales de particules issues de l'échappement diesel) sur les manifestations des phénotypes allergiques non asthmatiques (comme les rhinites allergiques ou les conjonctivites, l'eczéma, les sérums spécifiques IgE, la sensibilisation aux aéroallergènes).

Cancer et mutagénicité

Evaluation de la causalité de la relation entre exposition au trafic et cancer
Cancers de l'enfant <ul style="list-style-type: none"> • Leucémie, cancer du cerveau et autres • Preuves « inadéquates et insuffisantes » pour l'existence d'une relation causale

Cancers de l'adulte

- Cancers pulmonaires et autres étudiés dans des études en population générale
- Preuves « inadéquates et insuffisantes » pour l'existence d'une relation causale

Les auteurs n'ont pas analysé les relations entre exposition professionnelle et leucémies et cancers pulmonaires (premier organe cible après une exposition à la pollution de l'air) chez les adultes. Les auteurs ont privilégié les études en population avec une exposition large à la pollution du trafic. Selon les auteurs, bien que les études cellulaires indiquent que les particules issues des véhicules diesel induisent des cassures de l'ADN, des oxydations de base et présentent un potentiel mutagène, la transposition de ces études de mutagénicité *in vitro* à une évaluation de risques pour l'Homme est discutable. Les études animales indiquent que les polluants issues de l'échappement à fortes concentrations (produites par les véhicules diesel et essence) induisent des cancers. Bien que certaines de ces données soient irréfutables, il est à l'heure actuelle impossible de les relier avec les données épidémiologiques issues des études en population générale. Aucune conclusion couplant les deux sources de données ne peut être formulée à l'heure actuelle.

Effets sur la reproduction

Les données expérimentales ne contiennent aucune étude recherchant les mêmes effets que ceux des études épidémiologiques comme la naissance avant terme ou le faible poids de naissance. Inversement, aucune étude épidémiologique ne concerne les effets sur la fertilité alors que de nombreuses études animales étudient les effets sur les organes de la reproduction et la fonction spermatique. Aucune conclusion ne peut être formulée à l'heure actuelle.

Neurotoxicité

Les données expérimentales et épidémiologiques sont inappropriées à ce jour pour pouvoir se prononcer sur la neurotoxicité associée à une exposition à la pollution du trafic.

Annexe 4 : Liste des pays et organismes ayant répondu à la consultation de l'Anses sur des démarches analogues dans d'autres pays européens pour l'évaluation de l'impact d'un projet routier sur la qualité de l'air et la santé.

Pays	Organisme	Pays	Organisme
Allemagne	UBA (Umweltbundesamt) - German Federal Environment Agency	Irlande	Environmental Protection Agency National Transport Authority National Road Authority
Angleterre	St. George's, University of London, SGUL, United Kingdom (par Aphekom)	Italie	Rome E Health Authority, ASL RM/E (par Aphekom)
Autriche	Federal Environment Agency Austria, Dept. For air quality and energy Institute for Environmental Health Medical University of Vienna, MUW, Austria (par Aphekom)	Lithuanie	Deputy Head of Air Quality Assessment Division of EPA
Belgique	Flemish Environment Agency (VMM)	Norvège	Climate and Pollution Agency Norwegian Institute for Air Research (NILU)
Danemark	Institute for Transport, Danish Technical University Department of Environmental Science Aarhus University	Pays-Bas	Netherlands Environmental Assessment Agency National Institute for Public Health and Environment (RIVM)
Espagne	Ministry for the environment, and rural and marine affairs Directorate general for the environment quality and assessment Centre for Research in Environmental Epidemiology, CREAL , Barcelona, Spain (par Aphekom)	Pologne	Ministry for the infrastructures General Directorate for Environmental Protection
Finlande	Finnish Environment Institute	Suisse	Federal Office for the Environment FOEN and Swiss Tropical and Public Health Institute (par Aphekom)
Grèce	Ministry for the environment, energy & climate change Directorate general for the environment Division of air & noise pollution control	Slovénie	National Institute of Public Health

Annexe 5 : Description des éléments reçus dans le cadre de la consultation européenne réalisée par l'Anses

La consultation européenne a été lancée au mois de juillet 2011 par voie électronique. Des relances et des compléments d'informations ont été demandés jusqu'en décembre 2011. Pour décrire les éléments de réponse reçus, il a été décidé de les présenter dans un tableau de synthèse en s'attachant à répondre aux questions suivantes par pays :

- Est-il réalisé des études d'impact pour les projets d'infrastructures routières ?
- Si oui, ces études sont-elles obligatoires ? Quel texte encadre ces dispositions et quelles sont les infrastructures routières visées ?
- La qualité de l'air est-elle intégrée dans ces études ? Quels polluants sont notamment pris en compte ?
- Y-a-t-il une évaluation de l'impact sur la santé ? Si oui, quelle démarche est suivie ?
- Quelles informations complémentaires ont été fournies dans le cadre de cette consultation ?

Les intitulés des documents sont donnés soit en anglais, soit dans leur langue d'origine en fonction des informations et documents transmis dans le cadre de cette consultation

	Allemagne	Autriche
Réalisation d'étude d'impact pour les projets routiers	Oui, Environmental impact assessment (EIA)	Oui, Environmental impact assessment (EIA)
<u>Etude obligatoire</u>	<p>Oui.</p> <p>Textes législatifs et réglementaires :</p> <p>Environmental Impact Assessment Act (UVPG) Federal Mining Act (BBergG) relevant ordinance on EIA (UVP-V Bergbau) Building Code (BauGB), Federal Regional Planning Act (ROG), law of the German Länder.</p> <p>Renvoient aux directives européennes (EIA Directive 337/85/EEC, SEA Directive 42/2001/EG) et aux protocoles internationaux (Espoo Convention, SEA Protocol).</p> <p>Politique gérée au niveau des Länder (ou états fédéraux). Les études d'impacts environnementaux sont réalisées par des entreprises privées à la demande des agences fédérales responsables du projet.</p>	<p>Oui.</p> <p>Textes législatifs et réglementaires :</p> <p>Austrian Environmental impact assessment Act -- Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz 2000 (UVP- G 2000) : loi transposant la directive 85/337 en droit autrichien et intégrant les dispositions de la directive 97/11/CE en 2000</p> <p><u>Infrastructures visées</u> :</p> <p>L'annexe 1 définit les 88 projets pour lesquels l'EIA est obligatoire.</p> <p>Ceux-ci sont divisés en trois groupes (colonnes). Les projets des deux premiers groupes (colonnes) doivent en tout état de cause être soumis à une EIA, lorsque les seuils fixés sont atteints et que les critères prévus sont remplis. Les projets du troisième groupe (colonne) doivent être examinés au cas par cas, dès lors que le seuil minimum indiqué est atteint (informations recueillies sur le site internet du ministère en charge de l'environnement qui nous a été communiqué).</p>
<u>Prise en compte de la qualité de l'air</u>	/	Oui. NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2,5}
<u>Evaluation de l'impact sur la santé</u>	/	Oui. Les concentrations modélisées sont comparées aux valeurs limites européennes. Un document guide datant de 2005 en allemand a été fourni « Umweltbundesamt - Leitfaden UVP und IG-L. Hilfestellung im Umgang mit der Überschreitung von Immissionsgrenzwerten und Luftschadstoffen in UVP-Verfahren » Celui-ci encadre la démarche d'évaluation de l'impact sur la qualité de l'air. Ce guide n'a pas de caractère contraignant.
<u>Données identifiées</u>	/	<p>La réponse du membre du réseau Aphekom fournit les informations suivantes : pour des projets routiers importants (intensité de trafic et longueur), une évaluation de l'impact sur la qualité de l'air et la santé est aussi réalisée. Les émissions sont estimées à partir des inventaires d'émission incluant les échappements, les freins, les voiries et la resuspension des particules. Les polluants d'intérêt sont PM₁₀ et NO₂. Un modèle de distribution pour évaluer l'exposition à ces polluants liée au projet routier est utilisé.</p> <p><i>Le projet est accepté si les niveaux de pollution « additionnels » sont inférieurs à 3% des valeurs limites annuelles. Dans certains cas, les exigences sont plus importantes (1% des valeurs limites), notamment lorsque la pollution de fond dépasse les valeurs limites.</i></p>

	Bulgarie	Danemark	Espagne
Réalisation d'étude d'impact pour les projets routiers	Oui, Environmental impact assessment (EIA)	Oui, Environmental impact assessment (EIA)	Oui, Environmental impact assessment (EIA)
Etude obligatoire	Textes législatifs et réglementaires : Environmental Protection Act, Chapter six Environmental assessment and Environmental impact assessment Ordinance on the terms and procedure for making environmental impact assessment of investment proposals for construction, activities and technologies	Textes législatifs et réglementaires : Danish statutory order Entité responsable des EIA: Danish Road Directorate Infrastructures visées : construction ou des travaux de modifications/extensions d'une autoroute. Certaines routes peuvent être aussi concernées (EIA screening dans un premier temps)	Textes législatifs et réglementaires : Spanish EIA Law : Real Decreto Legislativo 1/2008 Infrastructures visées sont celles proposées par la directive européenne EIA Entité responsable des EIA : General Director for Environmental Protection, with 16 regional directors to support operations at a regional level.
Prise en compte de la qualité de l'air	/	Oui. Surtout évaluation des émissions issues des véhicules. Développement récent d'un modèle OML Highway → focus sur NO ₂ et PM ₁₀ – PM _{2,5}	Oui. Les particules sont principalement étudiées pour la phase de construction
Evaluation de l'impact sur la santé	/	Oui, via les critères de qualité de l'air établie au niveau européen par les différentes directives	Oui, via les critères de qualité de l'air établie au niveau européen par les différentes directives
Données identifiées	http://www.moew.government.bg/recent_doc/legislation/horisontal/en/EIA%20Ordinance%20(English%20translation).doc	Un rapport décrivant le modèle OML-Highways a été fourni. Ce modèle permet de calculer les concentrations dans l'air autour d'un axe routier. La partie émission repose sur la méthode COPERT IV.	/

	Lithuanie	Irlande	Norvège
Réalisation d'étude d'impact pour les projets routiers	Oui, Environmental impact assessment (EIA)	Oui, Environmental impact assessment (EIA)	Oui. Etude de l'impact sur l'environnement (EIE)
Etude obligatoire	Oui Textes législatifs et réglementaires : Law on Environmental Impact Assessment of Proposed Economic Activities Order of the Minister of Environment and Minister of Health to control this process and Manual for Environmental Impact Assessment Infrastructures visées : - Building of main roads and country roads. - Building of roads with four or more lanes or reconstruction of roads with more than four lanes, by installing four or more lanes (where a continuous road section of 10 km or longer is being built/reconstructed).	Oui Textes législatifs et réglementaires : Roads Act, 1993 : Part IV Roads Regulations, 1994 modifiés : Part V Ces textes renvoient à la directive européenne 97/11/CE Council Directive 97/11/EC of 3 March 1997 amending Directive 85/337/EEC on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment (notamment Annexe 1) et à la directive 2003/4/EC on public access to environmental information (en vigueur depuis juin 2005) Infrastructures visées : - construction d'autoroutes - construction de voies de bus - construction d'aire de service - construction ou réaménagement de routes nationales Entité responsable des EIA: National Roads Authority (NRA)	Oui. Textes législatifs et réglementaires : Planning and Building Act Regulations on Environmental Impact Assessment modifiées en 2009 (non traduite en anglais) Renvoient aux directives européennes suivantes 2003/35/EC, 2001/42/EC, 97/11/EC, 85/337/EEC Infrastructures visées : Section 2 : étude obligatoire pour les infrastructures routières définies à l'annexe 1 : - autoroutes et routes utilisés exclusivement par des véhicules motorisés - construction de routes de plus de 4 voies ou réaménagement de routes à 2 voies en une routes de plus de 4 voies sur plus de 10 km de long - construction de routes dont le budget est > à 500 NOK - routes sont soumis à la réalisation d'EIA dans les conditions définies dans la section 4. → point g) result in a significant increase in the number of persons who are exposed to high levels of air pollution or noise, or may lead to significant pollution of soil, water and sediments, or entail a risk of serious accidents, radiation, landslides and flooding,
Prise en compte de la qualité de l'air	Oui. Les polluants de l'air pris en compte sont ceux issus du trafic : CO, PM et NO _x	Oui	/
Evaluation de l'impact sur la santé	/	Oui, via les critères de qualité de l'air établie au niveau européen (Directive 2008/50/EC transposé dans le droit irlandais en 2011 Air Quality Standards Regulations, S.I. 180 of 2011)	/
Données identifiées	/	Identification d'un guide mis à jour en 2011 qui intègre les nouvelles dispositions pour la réalisation d'évaluation de la qualité de l'air pour les post-EIA : <i>Guidelines for the Treatment of Air Quality During the Planning and Construction of National Road Schemes (2011, NRA)</i> . Polluants à prendre en compte: - échelle locale NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2,5} - échelle nationale : NO _x et CO ₂ → Schéma présentant les étapes d'évaluation de la qualité de l'air sur les différentes phases de l'EIA	/

	Pays-Bas	Pologne	Suisse
Réalisation d'étude d'impact pour les projets routiers	Oui, Environmental impact assessment (EIA)	Oui, Environmental impact assessment (EIA)	Oui. Etude de l'impact sur l'environnement (EIE)
Etude obligatoire	Oui Textes législatifs et réglementaires : Environmental Management Act Air Quality Order (2001, 2005)	Textes législatifs et réglementaires : Act of 3 October 2008 on the provision of information on the environment and its protection, public participation in environmental protection and environmental impact assessment (Journal of Laws of 2008 No.199, item 1227, as amended). Infrastructures visées : (p 32 document) 31) motorways and express roads 32) road with four or more lanes and total continuous length of not less than 10 km Entité responsable des EIA : General Director for Environmental Protection, with 16 regional directors to support operations at a regional level.	Oui. Cadre législatif Textes législatifs et réglementaires : Loi fédérale de protection de l'environnement et ordonnances associées Ordonnance du 19 octobre 1988 relative à l'étude de l'impact sur l'environnement (OEIE) modifiée (2009) Installations visées : - Routes nationales - Routes principales qui ont été construites avec l'aide de la Confédération - Autres routes à grand débit (RGD) et autres routes principales (RP) - Parcs de stationnement (terrain ou bâtiment) pour plus de 300 voitures - Installations de transport public dans le domaine routier (par ex.: ligne de tram) Réalisation de l'EIE pour les infrastructures routières au cours des phases de réalisation et d'exploitation.
Prise en compte de la qualité de l'air	Oui. Dutch Air Quality Innovation Programme (IPL : http://www.ipl-airquality.nl/) NO ₂ et PM ₁₀	/	Oui, NO _x , NO ₂ , CO, CO ₂ , COV, SO ₂ , O ₃ , Pb, Poussière et suie. Remarque : COV est employé comme synonyme de l'ancienne appellation HC. Pas de VLI pour les COV mais pour l'O ₃ poussière correspond aux particules fines et les sédiments à grosse granulométrie. La suie se compose essentiellement de carbone. Prise en compte de ces paramètres dans des cas spéciaux
Evaluation de l'impact sur la santé	Oui, via les critères de qualité de l'air établie au niveau européen par les différentes directives	/	Vérification du respect des valeurs limites d'immission (VLI) inscrites dans l'ordonnance sur la protection de l'air (OPair) Si ce n'est pas le -cas, pourraient-elles l'être avec des mesures de protection supplémentaires. Si ce n'est toujours pas le cas, l'installation met-elle en danger certains plans de mesures au sens des articles 31 et suivants de l'OPair? Si tel est le cas, il incombe au canton de veiller à ce que le plan de mesures en matière de protection de l'air soit respecté.
Données identifiées	La réponse d'un membre du réseau de l'AEE a indiqué qu'un programme national de qualité de l'air en application de la réglementation européenne encadre les actions gouvernementales dans ce domaine. L'objectif étant le respect des valeurs limites des PM ₁₀ en 2011 et du NO ₂ en 2012, un outil de surveillance a été développé pour les axes routiers prenant en compte l'intensité du trafic et les caractéristiques de la route pour modéliser la qualité de l'air. Avec l'entrée en vigueur de l'arrêté « Air Quality Order » en 2001, une quarantaine de projets proposés par les autorités ont été rejetés par la cour de justice néerlandaise en raison du non respect des valeurs limites de qualité de l'air, incluant des projets routiers. L'article de Fleurke et Koeman (2005) explique que la transposition en 2001 dans le droit national de la directive européenne sur la qualité de l'air 1999/30/CEE a été particulière par rapport à d'autres états-membres. La prise en compte des valeurs limites à atteindre	/	Identification d'un guide (1993) pour la réalisation d'EIE pour les infrastructures routières qui encadre les dispositions

	Pays-Bas	Pologne	Suisse
	<p>était demandée dans toutes les politiques publiques dont celles sur les projets d'aménagements ou d'ouvrage ce qui a appuyé les décisions de la cour de justice. La réglementation néerlandaise a été modifiée en 2005 (notamment l'article 7.3 introduisant un « système d'équilibre » (« on balance system ») pour lever ces difficultés. Un programme national de qualité de l'air (NSL) a été mis en place dans le but d'identifier les mesures qui permettraient d'améliorer la qualité de l'air à proximité des routes et d'atteindre les valeurs limites européennes. Un rapport d'analyse de ce programme indique que les projets peuvent être mis en œuvre s'il ne contribue pas à une augmentation de concentration moyenne annuelle de plus de 1,2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pour les PM_{10} ou le NO_2 (IPL-8, 2009). Un outil de surveillance a été développé pour les axes routiers prenant en compte l'intensité du trafic et les caractéristiques de la route pour modéliser la qualité de l'air.</p> <p>Un rapport du programme IPL (2009) mentionne que « There is a possibility for projects to be implemented if they do not contribute 'in significant amounts' to air pollution (if they do not increase the yearly averaged concentrations of PM_{10} or NO_2 by more than 1.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). »</p>		

Annexe 6 : Recherche bibliographique dans Scopus pour l'identification de nouvelles polluants

Mots clés utilisés pour la recherche dans la base de données Scopus :

Anglais langage naturel
Fine particulate
Non-exhaust particle
Airborne particulate matter e
Airborne particulate debris
Emission factors
Tread wear
Tyre wear performance
Tire wear particles
Rubber tires
Rubber dust
Paved road dust
Pavement
Bitumen particles
Asphalt
Road traffic
Road transport
Roadside conservation
Roadside soil contamination
Road environment
Highway
Rural highway
Motorway
Motor vehicles
PAH
road deicing
Road maintenance
Health effects
Health impact

Polluants identifiées dans la littérature :

Noms	Formule	CAS	Référence	Noms	Formule	CAS	Référence
glyphosate (sel d'isopropylamine)	C ₃ H ₈ NO ₅ P	1071-83-6	INERIS, 2008	2 cyclohexenone	C ₆ H ₈ O	930-68-7	Jakober, 2011
2,4 - MCPA	C ₉ H ₉ ClO ₃	94-74-6		2,3-butanedione	C ₄ H ₆ O ₂	431-03-8	
Aminotriazole	C ₂ H ₄ N ₄	61-82-5		2,3-pentanedione	C ₅ H ₈ O ₂	600-14-6	
Flazasulfuron	C ₁₃ H ₁₂ F ₃ N ₅ O ₅ S	104040-78-0		2,4-pentanedione	C ₅ H ₈ O ₂	123-54-6	
Glufosinate d'ammonium	C ₅ H ₁₂ N ₄ O ₄ PH ₃ N	77182-82-2		2,3-hexanedione	C ₆ H ₁₀ O ₂	3848-24-6	
Diuron	C ₉ H ₁₀ Cl ₂ N ₂ O	330-54-1		2,5-hexanedione	C ₆ H ₁₀ O ₂	110-13-4	
Diflufénicanil	C ₁₉ H ₁₁ F ₅ N ₂ O ₂	83164-33-4		Cinnaldéhyde	C ₉ H ₈ O	104-55-2	
Fluroxypyr	C ₇ H ₅ Cl ₂ FN ₂ O ₃	69377-81-7		3,4-diméthylbenzaldéhyde	C ₉ H ₁₀ O	5973-71-7	
2,4 - D	C ₈ H ₆ Cl ₂ O ₃	94-75-7		2-éthylbenzaldéhyde	C ₉ H ₁₀ O	22927-13-5	
Tricopyr	C ₇ H ₄ Cl ₃ NO ₃	55335-06-3		1-naphtaldéhyde	C ₁₁ H ₈ O	66-77-3	
Molybdène	Mo	7439-98-7		Amato, 2011	2-naphtaldéhyde	C ₁₁ H ₈ O	
dibenzo[a,i]pyrène	C ₂₄ H ₁₄	189-55-9	Bergvall, 2009	4-biphenylcarboxaldehyde	C ₁₃ H ₁₀ O	3218-36-8	
hydrogène	H ₂	1333-74-0 / 725200-57-7	Bond, 2011	acetophenone / Acetylbenzene	C ₈ H ₈ O	98-86-2	
heptaldéhyde	C ₇ H ₁₄ O	111-71-7	Jakober, 2011	1-indanone	C ₉ H ₈ O	83-33-0	
octylaldéhyde	C ₈ H ₁₆ O	124-13-0		9-fluorenone / Fluorénone	C ₁₃ H ₈ O	486-25-9	
nonaldéhyde	C ₉ H ₁₈ O	124-19-6		benzophénone	C ₁₃ H ₁₀ O	119-61-9	
decaldéhyde	C ₁₀ H ₂₀ O	112-31-2		perinaphthenone	C ₁₃ H ₈ O	548-39-0	
undécaldéhyde	C ₁₁ H ₂₂ O	112-44-7		xanthone	C ₁₃ H ₈ O ₂	90-47-1	
dodécylaldéhyde	C ₁₂ H ₂₄ O	112-54-9		1,2-diacetylbenzene	C ₁₀ H ₁₀ O ₂	704-00-7	
tridecanal	C ₁₃ H ₂₆ O	10486-19-8		1,3-diacetylbenzene	C ₁₀ H ₁₀ O ₂	6781-42-6	
tétradécylaldéhyde	C ₁₄ H ₂₈ O	124-25-4		1,4-diacetylbenzene	C ₁₀ H ₁₀ O ₂	1009-61-6	
3 pentanone / Diméthylacétone	C ₅ H ₁₀ O	96-22-0		Anhydride naphthalique-1,8	C ₁₂ H ₆ O ₃	81-84-5	
2 pentanone / Méthyl propyl cétone	C ₅ H ₁₀ O	107-87-9		acide cyanhydrique	HCN	74-90-8	Key, 2007
2 hexanone / Méthyl n-butyl cétone	C ₆ H ₁₂ O	591-78-6		éthanol	C ₂ H ₆ O	64-17-5	Legreid, 2007
2 heptanone / Méthyl pentylcétone	C ₇ H ₁₄ O	110-43-0	isopropanol	C ₃ H ₈ O	67-63-0		
2 octanone / Méthyl hexyl cétone	C ₈ H ₁₆ O	111-13-7	n-propanol	C ₃ H ₈ O	71-23-8		
2 nonanone / Méthyl heptyl cétone	C ₁₀ H ₁₈ O	821-55-6	isobutanol	C ₄ H ₁₀ O	78-83-1		
trans-2-Methylcrotonaldehyde	C ₅ H ₈ O	497-03-0	méthylacétate	C ₃ H ₆ O ₂	79-20-9		
3,3-diméthylacroléine / 3 - méthylcrotonaldéhyde	C ₅ H ₈ O	107-86-8	éthylacétate	C ₄ H ₈ O ₂	141-78-6		
trans 2 hexenal	C ₆ H ₁₀ O	6728-26-3	butylacétate	C ₆ H ₁₂ O ₂	123-86-4		
4 hexen-3-one	C ₆ H ₁₀ O	2497-21-4					
5 hexen-2-one	C ₆ H ₁₀ O	109-49-9					
2 méthyl 2 cyclopentanone	C ₆ H ₈ O	1120-73-6					
3 méthyl 2 cyclopentanone	C ₆ H ₈ O	2758-18-1					

Noms	Formule	CAS	Référence	Noms	Formule	CAS	Référence
glyphosate (sel d'isopropylamine)	C ₃ H ₈ NO ₅ P	1071-83-6	INERIS, 2008	2 cyclohexenone	C ₆ H ₈ O	930-68-7	Jakober, 2011
2,4 - MCPA	C ₉ H ₉ ClO ₃	94-74-6		2,3-butanedione	C ₄ H ₆ O ₂	431-03-8	
Aminotriazole	C ₂ H ₄ N ₄	61-82-5		2,3-pentanedione	C ₅ H ₈ O ₂	600-14-6	
Flazasulfuron	C ₁₃ H ₁₂ F ₃ N ₅ O ₅ S	104040-78-0		2,4-pentanedione	C ₅ H ₈ O ₂	123-54-6	
Glufosinate d'ammonium	C ₅ H ₁₂ N ₄ O ₄ PH ₃ N	77182-82-2		2,3-hexanedione	C ₆ H ₁₀ O ₂	3848-24-6	
Diuron	C ₉ H ₁₀ Cl ₂ N ₂ O	330-54-1		2,5-hexanedione	C ₆ H ₁₀ O ₂	110-13-4	
Diflufenicanil	C ₁₉ H ₁₁ F ₅ N ₂ O ₂	83164-33-4		Cinnamaldéhyde	C ₉ H ₈ O	104-55-2	
Fluroxypyr	C ₇ H ₅ Cl ₂ FN ₂ O ₃	69377-81-7		3,4-diméthylbenzaldéhyde	C ₉ H ₁₀ O	5973-71-7	
2,4 - D	C ₈ H ₆ Cl ₂ O ₃	94-75-7		2-éthylbenzaldéhyde	C ₉ H ₁₀ O	22927-13-5	
Triclopyr	C ₇ H ₄ Cl ₃ NO ₃	55335-06-3		1-naphtaldéhyde	C ₁₁ H ₈ O	66-77-3	
Molybdène	Mo	7439-98-7		Amato, 2011	2-naphtaldéhyde	C ₁₁ H ₈ O	
dibenzo[a,i]pyrène	C ₂₄ H ₁₄	189-55-9	Bergvall, 2009	4-biphenylcarboxaldehyde	C ₁₃ H ₁₀ O	3218-36-8	
hydrogène	H ₂	1333-74-0 / 725200-57-7	Bond, 2011	acetophenone / Acetylbenzene	C ₈ H ₈ O	98-86-2	Jakober, 2011
heptaldéhyde	C ₇ H ₁₄ O	111-71-7	Jakober, 2011	1-indanone	C ₉ H ₈ O	83-33-0	
octylaldéhyde	C ₈ H ₁₆ O	124-13-0		9-fluorenone / Fluorénone	C ₁₃ H ₈ O	486-25-9	
nonaldéhyde	C ₉ H ₁₈ O	124-19-6		benzophénone	C ₁₃ H ₁₀ O	119-61-9	
decaldéhyde	C ₁₀ H ₂₀ O	112-31-2		perinaphthenone	C ₁₃ H ₈ O	548-39-0	
undécaldéhyde	C ₁₁ H ₂₂ O	112-44-7		xanthone	C ₁₃ H ₈ O ₂	90-47-1	
dodécylaldéhyde	C ₁₂ H ₂₄ O	112-54-9		1,2-diacetylbenzene	C ₁₀ H ₁₀ O ₂	704-00-7	
tridecanal	C ₁₃ H ₂₆ O	10486-19-8		1,3-diacetylbenzene	C ₁₀ H ₁₀ O ₂	6781-42-6	
tétradécylaldéhyde	C ₁₄ H ₂₈ O	124-25-4		1,4-diacetylbenzene	C ₁₀ H ₁₀ O ₂	1009-61-6	
3 pentanone / Diméthylacétone	C ₅ H ₁₀ O	96-22-0		Anhydride naphtalique-1,8	C ₁₂ H ₆ O ₃	81-84-5	
2 pentanone / Méthyl propyl cétone	C ₅ H ₁₀ O	107-87-9		acide cyanhydrique	HCN	74-90-8	
2 hexanone / Méthyl n-butyl cétone	C ₆ H ₁₂ O	591-78-6		éthanol	C ₂ H ₆ O	64-17-5	Legreid, 2007
2 heptanone / Méthyl pentylcétone	C ₇ H ₁₄ O	110-43-0	isopropanol	C ₃ H ₈ O	67-63-0		
2 octanone / Méthyl hexyl cétone	C ₈ H ₁₆ O	111-13-7	n-propanol	C ₃ H ₈ O	71-23-8		
2 nonanone / Méthyl heptyl cétone	C ₁₀ H ₁₈ O	821-55-6	isobutanol	C ₄ H ₁₀ O	78-83-1		
trans-2-Methylcrotonaldehyde	C ₅ H ₈ O	497-03-0	méthylacétate	C ₃ H ₆ O ₂	79-20-9		
3,3-diméthylacroléine / 3 - méthylcrotonaldéhyde	C ₅ H ₈ O	107-86-8	éthylacétate	C ₄ H ₈ O ₂	141-78-6		
trans 2 hexenal	C ₆ H ₁₀ O	6728-26-3	butylacétate	C ₆ H ₁₂ O ₂	123-86-4		
4 hexen-3-one	C ₆ H ₁₀ O	2497-21-4					
5 hexen-2-one	C ₆ H ₁₀ O	109-49-9					
2 méthyl 2 cyclopentanone	C ₆ H ₈ O	1120-73-6					
3 méthyl 2 cyclopentanone	C ₆ H ₈ O	2758-18-1					

Annexe 7 : Courrier de demande d'information à l'attention de fédérations professionnelles du secteur de l'automobile

Objet : Demande d'information

Dans le cadre de ses missions, l'Agence nationale de sécurité sanitaire en charge de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses)³² a été saisie le 26 octobre 2010 par les ministères en charge de l'écologie et de la santé sur le sujet **des polluants à retenir dans les évaluations des risques sanitaires réalisées dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières.**

La demande porte sur l'analyse des polluants résultant, directement ou non, des émissions du trafic routier et pouvant présenter un danger pour la santé des populations riveraines.

L'agence a constitué un groupe de travail composé d'experts scientifiques qui réalisent une revue des données disponibles dans la littérature scientifique en vue de sélectionner les polluants pertinents à considérer lors des études d'impact des infrastructures routières.

Afin de procéder à une revue exhaustive des données existantes, nous vous sollicitons afin de recenser les polluants émises par les technologies automobiles.

L'agence a la possibilité, en vertu de l'article L1313-2 du Code de la santé publique³³, d'avoir accès à toutes les informations nécessaires à l'exercice de ses missions. Aussi, nous vous saurions gré de bien vouloir répondre aux questions suivantes.

Concernant les **émissions à l'échappement et par évaporation**, le modèle COPERT IV fournit des données pour les polluants réglementés (CO, NO_x, COV, PM) et pour des polluants non réglementés (N₂O, NH₃, SO₂ etc.). Dans le cadre de nos travaux d'expertise, des scénarios seront retenus pour le calcul de facteurs d'émission à partir de ce modèle.

- Pouvez-vous nous indiquer si des polluants émises par les équipements automobiles que vous développez ne sont pas prises en compte dans le modèle COPERT IV ou si de nouveaux équipements réduisent ou accroissent les émissions de certaines polluants qui ne sont pas intégrés dans les calculs du modèle (prévision à 20 ans) ?

³² L'Anses a été créée le 1^{er} juillet 2010, agence reprenant les missions de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'alimentation (Afssa) et de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset)

³³ Article L1313-2 « L'agence accède, à sa demande et dans des conditions préservant la confidentialité des données à l'égard des tiers, aux informations nécessaires à l'exercice de ses missions qui sont détenues par toute personne physique ou morale sans que puisse lui être opposé le secret médical, le secret professionnel ou le secret en matière industrielle et commerciale. »

Par ailleurs, concernant les équipements suivants, les **fluides frigorigènes des climatisations, les disques d'embrayage, les freins et les pneumatiques**, pouvez-vous répondre aux questions suivantes :

- Quelles sont les polluants émises par les équipements que vous développez, sous quelle forme physique (particules, gaz) et spéciation chimique ?
- Dans le cas d'émissions particulières, quelle est la répartition granulométrique des particules ?
- Existe-t-il des facteurs d'émissions pour ces polluants (quantité par kilomètre ou par unité de temps) et/ou des estimations des quantités d'émission de ces polluants ?
- Existe-t-il et pouvez-vous nous transmettre tout document technique ou scientifique se rapportant à ces polluants et à leur émission?

Concernant l'exploitation de ces données, nous sollicitons par ailleurs l'accord explicite de votre société pour la publication de ces données, qui seraient alors anonymisées, dans le cadre des travaux d'expertise de l'agence.

En raison des contraintes liées au calendrier d'avancement des travaux d'expertise du groupe de travail de l'agence, nous souhaiterions recueillir une réponse de votre part avant le 20 novembre 2011

Vous pouvez pour cela vous adresser directement à mes collaborateurs, [REDACTED], dont les coordonnées figurent au recto de ce courrier.

En vous remerciant par avance de votre collaboration, je vous prie d'agréer, Madame, Monsieur, mes salutations les meilleures.

Annexe 8 : Polluants identifiées en 2012

NOM	Formule	N°CAS	origine	équipement source	NOM	Formule	N°CAS	origine	équipement source	NOM	Formule	N°CAS	origine	équipement source
ammoniac	NH ₃	7664-41-7	Echappement		acénaphthylène	C ₁₂ H ₈	208-96-8	Echappement		Baryum	Ba	7440-39-3	Equipements automobiles	pneumatiques + freins / lubrifiants
hydrogène	H ₂	1333-74-0			anthracène	C ₁₄ H ₁₀	120-12-7			Fer	Fe	7439-89-6		pneumatiques + freins
PM ₁₀					acénaphène	C ₁₂ H ₁₀	83-32-9			latex	-	9016-00-6		pneumatique
PTS					2-méthylnaphtalène	C ₁₁ H ₁₀	91-57-6			soufre	S	63705-05-5		pneumatique + freins + lubrifiants
PM _{2,5}					1-méthylnaphtalène	C ₁₁ H ₁₀	90-12-0			Antimoine	Sb	7440-36-0		pneumatiques + freins
PM _{0,1}					2-éthylnaphtalène	C ₁₂ H ₁₂	939-27-5			Cobalt	Co	7440-48-4		corrosion
monoxyde de carbone	CO	630-08-0			éthylnaphtalène	C ₁₂ H ₁₂	27138-19-8			Phosphore	Ph	7723-14-0		lubrifiant
dioxyde de carbone	CO ₂	37210-16-5			fluorène	C ₁₃ H ₁₀	86-73-7			Bore	B	7440-42-8		lubrifiant
monoxyde d'azote	NO	10102-43-9			diphénylméthane	C ₁₃ H ₁₂	101-81-5			Béryllium	Be	7440-41-7		électronique
dioxyde d'azote	NO ₂	10102-44-0			phénanthrène	C ₁₄ H ₁₀	85-01-08			Cérium	Ce	7440-45-1		pot catalytique
monoxyde de diazote	N ₂ O	10024-97-2			2-isopropylnaphtalène	C ₁₃ H ₁₄	2027-17-0			Etain	Sn	7440-31-5		lubrifiant
dioxyde de soufre	SO ₂	7446-09-5			méthyléthylnaphtalène	C ₁₃ H ₁₄	29253-36-9			Calcium	Ca	7440-70-2		lubrifiant
trioxyde de soufre	SO ₃	7446-11-09			triméthylnaphtalène	C ₁₃ H ₁₄	28652-77-9			Magnésium	Mg	7439-95-4		lubrifiant
isooctane	C ₈ H ₁₈	540-84-1			1-nitronaphtalène	C ₁₀ H ₇ NO ₂	86-57-7			Silicium	Si	7440-21-3		lubrifiant
heptane	C ₇ H ₁₆	142-82-5			2-nitronaphtalène	C ₁₀ H ₇ NO ₂	581-89-5			Vanadium	V	7440-62-2		lubrifiant, composant de l'acier
hexane (n-hexane)	C ₆ H ₁₄	110-54-3			2-nitrofluorène	C ₁₃ H ₉ NO ₂	607-57-8			Zirconium	Zr	7440-67-7		Freins + remise en suspension
méthane	CH ₄	74-82-8			9-nitroanthracène	C ₁₄ H ₉ NO ₂	602-60-8			sodium	Na	7440-23-5		lubrifiant
éthane	C ₂ H ₆	74-84-0			éthanol	C ₂ H ₆ O	64-17-5			Aluminium	Al	7429-90-5		lubrifiant + embrayage
propane	C ₃ H ₈	74-98-6			isopropanol	C ₃ H ₈ O	67-63-0			benzo(b)naphto[2,3,d]thiophène	C ₁₆ H ₁₀ S	243-46-9		lubrifiant
isobutane	C ₄ H ₁₀	75-28-5			n-propanol	C ₃ H ₈ O	71-23-8			1,1,1,2-Tétrafluoroéthane (R134A)	C ₂ H ₂ F ₄	811-97-2		fluide frigorigère des climatisations
butane	C ₄ H ₁₀	106-97-8			isobutanol	C ₄ H ₁₀ O	78-83-1			2,3,3,3 tétrafluoropropène (R1234yf)	C ₃ H ₂ F ₄	754-12-1		fluide frigorigère des climatisations
diméthylpropane	C ₅ H ₁₂	463-82-1			méthylacétate	C ₃ H ₆ O ₂	79-20-9			Mercur	Hg	7439-97-6		fondants routiers
isopentane	C ₅ H ₁₂	78-78-4			éthylacétate	C ₄ H ₈ O ₂	141-78-6			Arsenic	As	7440-38-2		fondants routiers / électronique, batteries
pentane	C ₅ H ₁₂	109-66-0			butylacétate	C ₆ H ₁₂ O ₂	123-86-4			ferrocyanure ferrique	C ₁₈ Fe ₇ N ₁₄	14038-43-8		fondants routiers
cyclopentane	C ₅ H ₁₀	287-92-3			formaldéhyde	CH ₂ O	50-00-0			Chlorure de sodium	NaCl	7647-14-5		fondants routiers
méthylcyclopentane	C ₆ H ₁₂	96-37-7			acétaldéhyde	C ₂ H ₄ O	75-07-0			Magnésium Acetate	C ₄ H ₆ MgO ₄	142-72-3		fondants routiers
2,2-diméthylbutane	C ₆ H ₁₄	75-83-2			acétone	C ₃ H ₆ O	67-64-1			Calcium Acetate	C ₄ H ₆ CaO ₄	5743-26-0		fondants routiers
2,3-diméthylbutane	C ₆ H ₁₄	79-29-8			acroléine	C ₃ H ₄ O	107-02-8			Chlorure de Calcium	CaCl ₂	10043-52-4		fondants routiers
2-méthylpentane	C ₆ H ₁₄	107-83-5			2-butanone	C ₄ H ₈ O	78-93-3			Carbonate de potassium	K ₂ CO ₃	584-08-7		fondants routiers
3-méthylpentane	C ₆ H ₁₄	96-14-0			benzaldéhyde	C ₇ H ₆ O	100-52-7			Chlorure de magnésium	MgCl ₂	7786-30-3		fondants routiers
cyclohexane	C ₆ H ₁₂	110-82-7			propionaldéhyde	C ₃ H ₆ O	123-38-6			Nitrate d'ammonium	NH ₄ NO ₃	6484-52-2		fondants routiers
2,4-diméthylpentane	C ₇ H ₁₆	108-08-7			crotonaldéhyde	C ₄ H ₆ O	4170-30-3			nitrate de sodium	NNaO ₃	7631-99-4		fondants routiers
2-méthylhexane	C ₇ H ₁₆	591-76-4		méthacroleine	C ₄ H ₆ O	78-85-3		glyphosate (sel d'isopropylamine)	C ₃ H ₈ NO ₅ P	1071-83-6	pesticides			
2,3-diméthylpentane	C ₇ H ₁₆	565-59-3		butyraldéhyde	C ₄ H ₈ O	123-72-8		2,4 - MCPA	C ₉ H ₉ ClO ₃	94-74-6	pesticides			
2,2diméthylpentane	C ₇ H ₁₆	590-35-2		isobutanaldéhyde	C ₄ H ₈ O	78-84-2		Aminotriazole	C ₂ H ₄ N ₄	61-82-5	pesticides			
2,2,3-triméthylbutane	C ₇ H ₁₆	464-06-2		isovaléraldéhyde	C ₅ H ₁₀ O	590-86-3		Flazasulfuron	C ₁₃ H ₁₂ F ₃ N ₅ O ₅ S	104040-78-0	pesticides			
3,3-diméthylpentane	C ₇ H ₁₆	562-49-2		valéraldéhyde	C ₅ H ₁₀ O	110-62-3		Glufosinate d'ammonium	C ₅ H ₁₂ N ₂ O ₄ PH ₃ N	77182-82-2	pesticides			
triméthylpentane	C ₈ H ₁₈	29222-48-8		o-tolualdéhyde	C ₈ H ₈ O	529-20-4		Diuron	C ₉ H ₁₀ Cl ₂ N ₂ O	330-54-1	pesticides			
3-méthylhexane	C ₇ H ₁₆	589-34-4		m-tolualdéhyde	C ₈ H ₈ O	620-23-5		Diflufénicanil	C ₁₉ H ₁₁ F ₅ N ₂ O ₂	83164-33-4	pesticides			
3-éthylpentane	C ₇ H ₁₆	617-78-7		p-tolualdéhyde	C ₈ H ₈ O	104-87-0		Fluroxypyr	C ₇ H ₅ Cl ₂ FN ₂ O ₃	69377-81-7	pesticides			
2,3-Diméthylhexane	C ₈ H ₁₈	584-94-1		hexaldéhyde	C ₆ H ₁₂ O	66-25-1		2,4 - D	C ₈ H ₆ Cl ₂ O ₃	94-75-7	pesticides			
2,2-diméthylhexane	C ₈ H ₁₈	590-73-8		2,5-diméthylbenzaldéhyde	C ₉ H ₁₀ O	5779-94-2		Triclopyr	C ₇ H ₄ Cl ₃ NO ₃	55335-06-3	pesticides			
2,4-diméthylhexane	C ₈ H ₁₈	589-43-5		Cinnamaldéhyde	C ₉ H ₈ O	104-55-2								
2,5-diméthylhexane	C ₈ H ₁₈	592-13-2		3,4-diméthylbenzaldéhyde	C ₉ H ₁₀ O	5973-71-7								
3,4-diméthylhexane	C ₈ H ₁₈	583-48-2		2-éthylbenzaldéhyde	C ₉ H ₁₀ O	22927-13-5								
méthylheptane	C ₈ H ₁₈	61193-19-9		1-naphtaldéhyde	C ₁₁ H ₈ O	66-77-3								
2-méthylheptane	C ₈ H ₁₈	592-27-8		2-naphtaldéhyde	C ₁₁ H ₈ O	66-99-9								
3-méthylheptane	C ₈ H ₁₈	589-81-1		4-biphenylcarboxaldehyde	C ₁₃ H ₁₀ O	3218-36-8								
				heptaldéhyde	C ₇ H ₁₄ O	111-71-7								

NOM	Formule	N°CAS	origine	équipement source	NOM	Formule	N°CAS	origine	équipement source		
4-méthylheptane	C ₈ H ₁₈	589-53-7	Echappement		octylaldéhyde	C ₈ H ₁₆ O	124-13-0	Echappement			
méthylcyclohexane	C ₇ H ₁₄	108-87-2				nonaldéhyde	C ₉ H ₁₈ O		124-19-6		
éthylcyclopentane	C ₇ H ₁₄	1640-89-7				decaldéhyde	C ₁₀ H ₂₀ O		112-31-2		
1,3-diméthylcyclohexane	C ₈ H ₁₆	591-21-9				undécaldéhyde	C ₁₁ H ₂₂ O		112-44-7		
1,4-diméthylcyclohexane	C ₈ H ₁₆	589-90-2				dodécylaldéhyde	C ₁₂ H ₂₄ O		112-54-9		
1,2-diméthylcyclohexane	C ₈ H ₁₆	583-57-3				tridecanal	C ₁₃ H ₂₆ O		10486-19-8		
cycloheptane	C ₇ H ₁₄	291-64-5				tétradécylaldéhyde	C ₁₄ H ₂₈ O		124-25-4		
butylcyclohexane	C ₁₀ H ₂₀	1678-93-9				propanedione	C ₃ H ₄ O ₂		78-98-8		
méthylnonane	C ₁₀ H ₂₂	63335-87-5				méthylvinylcétone	C ₄ H ₆ O		78-94-4		
octane	C ₈ H ₁₈	111-65-9				3 pentanone / Diméthylacétone	C ₅ H ₁₀ O		96-22-0		
nonane	C ₉ H ₂₀	111-84-2				2 pentanone / Méthylpropylcétone	C ₅ H ₁₀ O		107-87-9		
décane	C ₁₀ H ₂₂	124-18-5				2 hexanone / Méthyl-n-butylcétone	C ₆ H ₁₂ O		591-78-6		
undécane	C ₁₁ H ₂₄	1120-21-4				2 heptanone / Méthylpentylcétone	C ₇ H ₁₄ O		110-43-0		
dodécane	C ₁₂ H ₂₆	112-40-3				2 octanone / Méthylhexylcétone	C ₈ H ₁₆ O		111-13-7		
tridécane	C ₁₃ H ₂₈	629-50-5				2 nonanone / Méthylheptylcétone	C ₁₀ H ₁₈ O		821-55-6		
tétradécane	C ₁₄ H ₃₀	629-59-4				trans-2-Méthylcrotonaldéhyde	C ₅ H ₈ O		497-03-0		
pentadécane	C ₁₅ H ₃₂	629-62-9				3,3-diméthylacroléine / 3-méthylcrotonaldéhyde	C ₅ H ₈ O		107-86-8		
hexadécane	C ₁₆ H ₃₄	544-76-3				trans 2 hexenal	C ₆ H ₁₀ O		6728-26-3		
heptadécane	C ₁₇ H ₃₆	629-78-7				4 hexen-3-one	C ₆ H ₁₀ O		2497-21-4		
octadécane	C ₁₈ H ₃₈	593-45-3				5 hexen-2-one	C ₆ H ₁₀ O		109-49-9		
nonadécane	C ₁₉ H ₄₀	629-92-5				2 méthyl 2 cyclopentanone	C ₆ H ₈ O		1120-73-6		
icosane	C ₂₀ H ₄₂	112-95-8				3 méthyl 2 cyclopentanone	C ₆ H ₈ O		2758-18-1		
hénicosane	C ₂₁ H ₄₄	629-94-7				2 cyclohexanone	C ₆ H ₈ O		930-68-7		
docosane	C ₂₂ H ₄₆	629-97-0				acetophenone / Acetylbenzene	C ₈ H ₈ O		98-86-2		
tricosane	C ₂₃ H ₄₈	638-67-5				1-indanone	C ₉ H ₈ O		83-33-0		
méthyl heptane	C ₈ H ₁₈	50985-84-7				9-fluorenone / Fluorénone	C ₁₃ H ₈ O		486-25-9		
1,2-dichloroéthane	C ₂ H ₄ Cl ₂	1300-21-6				benzophénone	C ₁₃ H ₁₀ O		119-61-9		
1,2-dibromoéthane	C ₂ H ₄ Br ₂	106-93-4				perinaphthénone	C ₁₃ H ₈ O		548-39-0		
monobromométane	CH ₃ Br	74-83-9				xanthone	C ₁₃ H ₈ O ₂		90-47-1		
éthylène	C ₂ H ₄	74-85-1				1,2-diacetylbenzene	C ₁₀ H ₁₀ O ₂		704-00-7		
propène	C ₃ H ₆	115-07-1				1,3-diacetylbenzene	C ₁₀ H ₁₀ O ₂		6781-42-6		
propadiène	C ₃ H ₄	463-49-0				1,4-diacetylbenzene	C ₁₀ H ₁₀ O ₂		1009-61-6		
1-butène	C ₄ H ₈	106-98-9				Anhydride naphthalique-1,8	C ₁₂ H ₆ O ₃		81-84-5		
isobutène	C ₄ H ₈	115-11-7				2,3-butanedione	C ₄ H ₆ O ₂		431-03-8		
cis-2-butène	C ₄ H ₈	590-18-1				2,3-pentanedione	C ₅ H ₈ O ₂		600-14-6		
1-butyne	C ₄ H ₆	107-00-6				2,4-pentanedione	C ₅ H ₈ O ₂		123-54-6		
2-butyne	C ₄ H ₆	503-17-3				2,3-hexanedione	C ₆ H ₁₀ O ₂		3848-24-6		
trans-2-butène	C ₄ H ₈	624-64-6				2,5-hexanedione	C ₆ H ₁₀ O ₂		110-13-4		
isopentène	C ₅ H ₁₀	563-45-1				fluoranthène	C ₁₆ H ₁₀		206-44-0		
1-pentène	C ₅ H ₁₀	109-67-1				pyrène	C ₁₆ H ₁₀		129-00-0		
trans-2-pentène	C ₅ H ₁₀	646-04-8				benzo[ghi]pérylène	C ₂₂ H ₁₂		191-24-2		
cis-2-pentène	C ₅ H ₁₀	627-20-3				benzo[a]pyrène	C ₂₀ H ₁₂		50-32-8		lubrifiant
2-méthyl-1-butène	C ₅ H ₁₀	563-46-2				anthanthrène	C ₂₂ H ₁₂		191-26-4		
1-hexène	C ₆ H ₁₂	592-41-6				chrysène	C ₁₈ H ₁₂		218-01-9		lubrifiant
cis-2-hexène (+1-hexyne)	C ₆ H ₁₂	7688-21-3				benzo[b]fluorène	C ₁₇ H ₁₂		243-17-4		
trans-2-hexène	C ₆ H ₁₂	4050-45-7			benzo[a]anthracène	C ₁₈ H ₁₂	56-55-3				
trans-3-hexène	C ₆ H ₁₂	13269-52-8			benzo[b]fluoranthène	C ₂₀ H ₁₂	205-99-2		lubrifiant		
2-méthyl,2-pentène	C ₆ H ₁₂	625-27-4			benzo[k]fluoranthène	C ₂₀ H ₁₂	207-08-9		lubrifiant		
3-méthyl-1-pentène	C ₆ H ₁₂	760-20-3			benzo[j]fluoranthène	C ₂₀ H ₁₂	205-82-3		lubrifiant		
cis-4-méthyl-2-pentène	C ₆ H ₁₂	691-38-3			benzo[e]pyrène	C ₂₀ H ₁₂	192-97-2		lubrifiant		
cis-3-méthyl,2-pentène	C ₆ H ₁₂	922-62-3			dibenzo[a,h]anthracène	C ₂₂ H ₁₄	53-70-3				
trans-3-méthyl,2-pentène	C ₆ H ₁₂	616-12-6			dibenzo[a,j]anthracène	C ₂₂ H ₁₄	224-41-9				
2-méthyl,1-pentène	C ₆ H ₁₂	763-29-1			dibenzo[a,l]pyrène	C ₂₄ H ₁₄	191-30-0				
2-méthyl,1,4-pentadiène	C ₆ H ₁₀	763-30-4			3,6-diméthylphénanthrène	C ₁₆ H ₁₄	1576-67-6				
trans-2-méthyl,1,3-pentadiène	C ₆ H ₁₀	926-54-5			pérylène	C ₂₀ H ₁₂	198-55-0				
2,3,3-triméthyl,1-butène	C ₇ H ₁₄	594-56-9			triphénylène	C ₁₈ H ₁₂	217-59-4		lubrifiant		
1-méthylcyclopentène	C ₆ H ₁₀	693-89-0			indéno[1,2,3-cd]pyrène	C ₂₂ H ₁₂	193-39-5		lubrifiant		

Légende:

- aussi issues de l'échappement
- aussi issues des équipements
- aussi issues de l'évaporation
- aussi issues de l'entretien des voies
- aussi issues des équipements et entretiens des voies
- nouvelles polluants identifiées en 2012

NOM	Formule	N°CAS	origine	équipement source	NOM	Formule	N°CAS	origine	équipement source		
cyclohexène	C ₆ H ₁₀	110-83-8	Echappement		indeno[1,2,3,cd]fluoranthène	C ₂₂ H ₁₂	193-43-1	Echappement			
heptène	C ₇ H ₁₄	25339-56-4				coronène	C ₂₄ H ₁₂		191-07-1		
2-méthyl-1-hexène	C ₇ H ₁₄	6094-02-06				benzo[a]fluorène	C ₁₃ H ₁₀		86-73-7		
3-méthyl-1-hexène	C ₇ H ₁₄	3404-61-3				benzo[ghi]fluoranthène	C ₂₀ H ₁₂		4670-86-4		
4-méthyl-1-hexène	C ₇ H ₁₄	3769-23-1				benzo[c]phénanthrène	C ₁₈ H ₁₂		195-19-7		
5-méthyl-1-hexène	C ₇ H ₁₄	3524-73-0				cyclopenta[cd]pyrène	C ₁₈ H ₁₂		27208-37-3		
trans-2-heptène	C ₇ H ₁₄	14686-13-6				dibenzo[a,e]pyrène	C ₂₄ H ₁₄		192-65-4		
cycloheptène	C ₇ H ₁₂	628-92-2				dibenzo[a,h]pyrène	C ₂₄ H ₁₄		189-64-0		
1-octène	C ₈ H ₁₆	111-66-0				dibenzo[a,i]pyrène	C ₂₄ H ₁₄		189-55-9		
1,1-diméthylcyclohexane	C ₈ H ₁₆	590-66-9				dibenzo[a,i]phénanthrène	C ₂₂ H ₁₄		213-46-7		
trans-2-octène	C ₈ H ₁₆	13389-42-9				1,4-diméthylphénanthrène	C ₁₆ H ₁₄		22349-59-3		
cis-2-octène	C ₈ H ₁₆	7642-04-08				2-méthylchrysène	C ₁₉ H ₁₄		3351-32-4		
1-nonène	C ₉ H ₁₈	124-11-8				3-méthylchrysène	C ₁₉ H ₁₄		3351-31-3		
cis-4-nonène	C ₉ H ₁₈	10405-84-2				4-méthylchrysène	C ₁₉ H ₁₄		3351-30-2		
trans-4-nonène	C ₉ H ₁₈	10405-85-3				5-méthylchrysène	C ₁₉ H ₁₄		3697-24-3		
trans-3-nonène	C ₉ H ₁₈	20063-92-7				6-méthylchrysène	C ₁₉ H ₁₄		1705-85-7		
1-undécène	C ₁₁ H ₂₂	821-95-4				1-méthylphénanthrène	C ₁₅ H ₁₂		832-69-9		
1-dodécène	C ₁₂ H ₂₄	112-41-4				3,7-dinitrofluoranthène	C ₁₆ H ₈ N ₂ O ₄		105735-71-5		
acétylène	C ₂ H ₂	74-86-2				3,9-dinitrofluoranthène	C ₁₆ H ₈ N ₂ O ₄		22506-53-2		
propyne	C ₃ H ₄	74-99-7				1-nitropyrene	C ₁₆ H ₈ NO ₂		5522-43-0		
isoprène	C ₅ H ₈	78-79-5				3-nitrofluoranthène	C ₁₆ H ₈ NO ₂		892-21-7		
2-méthyl-2-butène	C ₅ H ₁₀	513-35-9				1,3-dinitropyrene	C ₁₆ H ₈ N ₂ O ₄		75321-20-9		
diméthylhexène	C ₈ H ₁₆	78820-82-3				1,6-dinitropyrene	C ₁₆ H ₈ N ₂ O ₄		42397-64-8		
3-méthyl,1-butène	C ₅ H ₁₀	563-45-1				1,8-dinitropyrene	C ₁₆ H ₈ N ₂ O ₄		42397-65-9		
cyclopentène	C ₅ H ₈	142-29-0				6-nitrobenzo[a]pyrène	C ₂₀ H ₁₁ NO ₂		63041-90-7		
cyclopentadiène	C ₅ H ₆	542-92-7				2,3,7,8-TCDD	C ₁₂ H ₄ Cl ₄ O ₂		1746-01-6		
1,3-butadiène	C ₄ H ₆	106-99-0				1,2,3,7,8-pentachlorodibenzo-para-dioxine	C ₁₂ H ₃ Cl ₅ O ₂		40321-76-4		
benzène	C ₆ H ₆	71-43-2				1,2,3,4,7,8-hexachlorodibenzo-para-dioxine	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O ₂		39227-28-6		
toluène	C ₇ H ₈	108-88-3				1,2,3,6,7,8-hexachlorodibenzo-para-dioxine	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O ₂		57653-85-7		
éthylbenzène	C ₈ H ₁₀	100-41-4				1,2,3,7,8,9-hexachlorodibenzo-para-dioxine	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O ₂		19408-74-3		
m-xylène	C ₈ H ₁₀	108-38-3				1,2,3,4,6,7,8-heptachlorodibenzo-para-dioxine	C ₁₂ HCl ₇ O ₂		35822-46-9		
p-xylene	C ₈ H ₁₀	106-42-3				1,2,3,4,7,8,9-heptachlorodibenzo-para-dioxine	C ₁₂ HCl ₇ O ₂		55673-89-7		
o-xylène	C ₈ H ₁₀	95-47-6				octachlorodibenzo-para-dioxine	C ₁₂ Cl ₈ O ₂		3268-87-9		
styrène	C ₈ H ₈	100-42-5				2,3,7,8-tetrachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₄ Cl ₄ O		51207-31-9		
propylbenzène	C ₉ H ₁₂	103-65-1				1,2,3,7,8-pentachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₃ Cl ₅ O		57117-41-6		
isopropylbenzène (cumène)	C ₉ H ₁₂	98-82-8				2,3,4,7,8-pentachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₃ Cl ₅ O		57117-31-4		
3-éthyltoluène	C ₉ H ₁₂	620-14-4				1,2,3,4,7,8-hexachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O		70648-26-9		
4-éthyltoluène	C ₉ H ₁₂	622-96-8				1,2,3,6,7,8-hexachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O		57117-44-9		
butyl benzène	C ₁₀ H ₁₄	104-51-8				1,2,3,7,8,9-hexachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O		72918-21-9		
1,3,5-triméthylbenzène	C ₉ H ₁₂	108-67-8				2,3,4,6,7,8-hexachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O		60851-34-5		
2-éthyltoluène	C ₉ H ₁₂	611-14-3				octachlorodibenzofurane	C ₁₂ Cl ₈ O		39001-02-0		
1,2,4-triméthylbenzène	C ₉ H ₁₂	95-63-6				Cadmium	Cd		7440-43-9		lubrifiant
tert-butylbenzène	C ₁₀ H ₁₄	98-06-6				Nickel	Ni		7440-02-0		
isobutylbenzène	C ₁₀ H ₁₄	538-93-2			Plomb	Pb	7439-92-1		glissière de sécurité + fondants routiers		
sec-butylbenzène	C ₁₀ H ₁₄	135-98-8			Chrome	Cr	7440-47-3		pneumatiques + freins + lubrifiant / fondants routiers		
butylbenzène	C ₁₀ H ₁₄	104-51-8			Cuivre	Cu	7440-50-8		lubrifiant + freins + antigels + pneumatiques / glissière de sécurité + fondants routiers		
1,2,3-triméthylbenzène	C ₉ H ₁₂	526-73-8			Sélénium	Se	7782-49-2				

NOM	Formule	N°CAS	origine	équipement source	NOM	Formule	N°CAS	origine	équipement source
cymène	C ₁₀ H ₁₄	99-87-6	Echappement		Zinc	Zn	7440-66-6	Echappement	pneumatiques + antigel + freins + lubrifiants / glissière de sécurité + fondants routiers
indane	C ₉ H ₁₀	496-11-7		Platine	Pt,	7440-06-4,	lubrifiant, composant de l'acier + pot catalytique + pneumatiques + freins		
1,2-diéthylbenzène	C ₁₀ H ₁₄	135-01-3		Palladium,	Pd,	7440-05-3,			
1,3-diéthylbenzène	C ₁₀ H ₁₄	141-93-5		Tungstène	W	7440-33-7	freins		
méthylindane	C ₁₀ H ₁₂	27133-93-3		Rhodium	Rh	7440-16-6			
1,4-diéthylbenzène	C ₁₀ H ₁₄	105-05-5		Manganèse	Mn	7439-96-5			
n-butylbenzène	C ₁₀ H ₁₄	104-51-8		Molybdène	Mo	7439-98-7			
1-méthyl-3-propylbenzène	C ₁₀ H ₁₄	1074-43-7		acide nitrique	NH ₃	7697-37-2			
1-méthyl-3-isopropylbenzène	C ₁₀ H ₁₄	535-77-3		acide cyanhydrique	HCN	74-90-8			
1-méthyl-4-propylbenzène	C ₁₀ H ₁₄	1074-55-1		nitrate de peroxyacyle	C ₁₅ H ₁₁ N ₃ O	85-85-8			
1,4-diméthyl-2-éthylbenzène	C ₁₀ H ₁₄	1758-88-9		acide sulfurique	H ₂ SO ₃	7664-93-9			
1,3-diméthyl-4-éthylbenzène	C ₁₀ H ₁₄	874-41-9		sulfate d'ammonium acide	NH ₄ HSO ₄	7803-63-6			
1,2-diméthyl-4-éthylbenzène	C ₁₀ H ₁₄	934-80-5		sulfate d'ammonium neutre	(NH ₄) ₂ SO ₄	7783-20-2	Fondant routier		
1,3-diméthyl-2-éthylbenzène	C ₁₀ H ₁₄	2870-04-04		acide formique	CH ₂ O ₂	64-18-6			
1,2-diméthyl-3-éthylbenzène	C ₁₀ H ₁₄	933-98-2		acide acétique	C ₂ H ₄ O ₂	64-19-7			
1,2,4,5-tétraméthylbenzène	C ₁₀ H ₁₄	95-93-2		Ethyl-Tertiobuthyl-Ether (ETBE)	C ₈ H ₁₄ O	637-92-3			
1,2,3,5-tétraméthylbenzène	C ₁₀ H ₁₄	527-53-7		Méthyl-Tertio-Amyl-Ether (TAME)	C ₈ H ₁₄ O	994-05-8			
1,2,3,4-tétraméthylbenzène	C ₁₀ H ₁₄	488-23-3		Méthyl-Tertiobuthyl-Ether (MTBE)	C ₈ H ₁₂ O	1634-04-4			
naphtalène	C ₁₀ H ₈	91-20-3		thiofène	C ₄ H ₄ S	110-02-1			

Annexe 9 : Synthèse du rapport de l'InVS (2004) relative aux critères de choix retenus pour la sélection des informations clés (FE et VTR) et des polluants pertinentes

Sélection des VTR

En première approche, il a été procédé à l'identification de la disponibilité de VTR pour chacune des polluants émises via la base de données TERA qui regroupe les VTR établies par des instances nationales ou internationales reconnues dans le domaine de l'évaluation des risques sanitaires à savoir : l'Agency for Toxic Pollutants and Disease Registry (ATSDR), le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC), United States – l'Environmental Protection Agency (U.S. EPA), Santé Canada, le Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu - Institut national de la santé publique et de l'Environnement (Pays-bas) (RIVM), International Program on Chemical Safety de l'Organisation mondiale de la santé (OMS/IPCS).

A l'issue de cette première approche, un certain nombre de polluants ont été identifiés comme étant émis par les véhicules, les infrastructures ou l'entretien de ces dernières, et pour lesquels un FE et une VTR étaient disponibles. Pour d'autres polluants, seule l'une des deux informations était connue. Les résultats sont présentés sous la forme de quatre tableaux rassemblant les polluants disposant des deux informations clés (Tableau 1a à 1d du rapport de l'InVS). D'autres tableaux listant les polluants disposant seulement d'une VTR ou d'un FE sont consultables dans l'annexe 3 du rapport de l'InVS).

En seconde approche, les effets toxiques et les modalités de dérivation des données scientifiques à la base de chaque VTR ont été décrits afin de caractériser les VTR en détails (annexe 4 du rapport de l'InVS). Pour cela, les bases de données suivantes ont été systématiquement consultées :

- IPCS, de l'Organisation Mondiale de la Santé, ainsi que les « Guidelines for Drinking Quality Water » et « Guidelines for Air Quality » et les monographies toxicologiques éditées par d'autres instances associées à l'OMS (IPCS, JECFA³⁴, JMPR³⁵, etc.) ;
- le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) de l'OMS : les monographies sur l'évaluation du risque cancérigène des polluants chimiques chez l'Homme ont été consultées sur le site internet du CIRC (<http://monographs.iarc.fr>) ;
- IRIS de l'agence américaine fédérale de l'environnement (U.S. EPA) : les informations concernant les VTR établies par cette agence sont accessibles sur Internet (<http://www.epa.gov/iris/subs/>) ;
- Agency for Toxic Pollutants and Disease Registry (ATSDR) : les informations complètes ont été collectées sur le site Internet de l'agence (<http://www.atsdr.cdc.gov>) et sur le CD-ROM édité par cette agence fédérale américaine (U.S. Public Health Service: Toxicological Profiles on CD-ROM Version 3:1 2000).

Dans le cas où seule la VTR était connue et où celle-ci caractérisait une substance potentiellement pertinente pour l'évaluation des risques sanitaires, des recommandations ont été faites pour l'amélioration des connaissances en matière de facteur d'émission. Ces polluants ont été identifiées sur les critères suivants :

- nature de l'effet sanitaire critique,
- concentration de référence faible ou excès de risque unitaire élevé en comparaison des valeurs observées dans les milieux où ces concentrations ont pu être mesurées.

³⁴ JECFA : Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives.

³⁵ JMPR : Joint FAO/WHO Meeting on Pesticides Residue

Lorsque plusieurs VTR étaient disponibles pour une même voie et même durée d'exposition, le choix de l'une d'entre elles a été réalisé par le groupe de travail en appliquant les critères de sélection suivants :

1. Sources des données, mode de calcul et hypothèses explicitées par les auteurs, validation définitive par les bases de données toxicologiques (pas de draft ni de document provisoire) ;
2. Voie d'exposition et danger spécifiques (en particulier cohérence avec les émissions du trafic) et/ou valeur issue d'études chez l'homme et/ou valeur la plus récente,,
3. Valeur numérique la plus conservatoire pour la santé (à critères 1, 2 équivalents).

Par ailleurs, dans certains cas, les VTR recensées pour un même polluant et une même voie d'exposition concernaient des effets différents. Dans l'objectif défini plus haut, l'effet critique (i.e. celui survenant pour l'exposition la plus faible) a été retenu et, en conséquence, la VTR correspondant à cet effet.

Sélection des facteurs d'émission

Principes généraux de sélection

Pour certaines polluants disposant des deux informations clés, plusieurs facteurs d'émission pouvaient être disponibles pour une même substance et une même source. Dans ce cas, les facteurs d'émission et leur méthode d'estimation ont été caractérisés à partir des documents sources.

Le facteur d'émission à utiliser a alors été sélectionné sur les critères suivants par ordre de prise en compte :

1. Données cohérentes avec les données et modèles recommandés dans le guide du Sétra-Certu : Modèle Copert III pour les facteurs d'émission à l'échappement, parc automobile INRETS-ADEME,
2. Objectifs, hypothèses et méthodes (échantillonnage, méthode d'analyse, cycle de mesure, etc...) explicités par les auteurs,
3. Valeurs tenant compte de l'évolution des véhicules, des moteurs, des carburants et des conditions de circulation réelles,
4. FE le plus élevé.

Le premier critère concerne uniquement les polluants émis à l'échappement des véhicules et correspond à un souci de cohérence avec les recommandations relatives aux autres aspects des études « air ». Copert III et les facteurs d'émission qui y apparaissent ont été considérés comme la référence. En effet, à l'époque le modèle Copert III de calcul des émissions et le parc automobile Inrets-Ademe assortis de leur logiciel de calcul étaient ceux recommandés.

Néanmoins, pour les polluants de l'échappement absents de Copert III et ceux issus des autres sources que l'échappement, les modalités d'estimation des facteurs d'émission ont été comparées pour sélectionner le plus pertinent.

Des facteurs d'émission unitaires pour différents scénarios ont été déterminés.

En ce qui concerne les émissions à l'échappement et par évaporation, des facteurs d'émission ont été calculés à partir du logiciel IMPACT-ADEME (version 2.0) selon la méthode Copert III. Les calculs ont été faits à l'horizon 2010 et à l'horizon 2020 mais les facteurs d'émission obtenus étant proportionnels entre les deux horizons, la suite du travail n'a utilisé que les facteurs d'émission calculés à l'horizon 2010.

Par ailleurs, les facteurs d'émission à l'échappement ont également été calculés pour deux trafics type (autoroutier et urbain). Ces deux trafics type ont été caractérisés par des hypothèses concernant la composition du parc roulant, la vitesse des véhicules et la proportion de départs à froid.

Les polluants émis par évaporation des véhicules à essence sont tous inclus dans la liste des polluants émis lors de la combustion à l'échappement. Après calculs, les facteurs d'émission par évaporation lors du roulage étant systématiquement très inférieurs à ceux à l'échappement, le groupe de travail n'a pas jugé nécessaire la prise en compte de ce type d'émission (évaporation)

lors de l'évaluation des risques sanitaires des projets routiers. En revanche, les émissions par évaporation n'étant pas négligeables pour les véhicules à l'arrêt, celles-ci seront à prendre en compte sur les tronçons disposant d'aires de parking où un nombre important de véhicules peut stationner.

En ce qui concerne les autres sources d'émission (usure des équipements automobiles, entretien des voies), les facteurs d'émission ont été collectés dans la littérature et sont décrits en détail. Comme exposé plus haut, lorsque plusieurs facteurs d'émission étaient disponibles pour un même polluant et une même source, des critères de sélection standardisés ont été appliqués pour ne retenir qu'un facteur d'émission. Pour les polluants particuliers, les facteurs d'émission de particules et la concentration du polluant dans ces particules ont été utilisés pour le calcul du facteur d'émission du polluant. Concernant l'entretien des voies, il a été procédé à une transformation des unités (de $\text{g/km}\cdot\text{an}$ en $\text{g/km}\cdot\text{véhicule}$) en posant comme hypothèse que sur le tronçon de 1 km passaient 50 000 véhicules par jour. Ainsi, ces FE pouvaient être comparés aux précédents.

Dans un troisième temps, pour chaque polluant, les facteurs d'émission liés à la combustion des carburants, à l'usure des équipements et à l'entretien des voies ont été additionnés.

Sélection des polluants pertinentes pour l'évaluation du risque sanitaire

Tous les polluants issus de la première étape n'avaient pas forcément à être pris en considération dans les évaluations des risques car les risques sanitaires liés à leur exposition pouvaient être très inégaux. La deuxième étape a donc consisté à choisir les traceurs de risque parmi tous les polluants issus de la première étape, c'est à dire ceux pour lesquels on dispose de facteurs d'émission et de VTR.

Pour la classification, pour chaque polluant, le facteur d'émission a été rapproché de la valeur toxicologique de référence pour évaluer son danger potentiel relativement aux autres polluants. Les scores calculés avaient pour objectif de classer les polluants par ordre de dangerosité intrinsèque décroissante.

- Pour les polluants disposant de VTR aiguës par inhalation, il a été calculé le rapport du facteur d'émission sur la VTR aiguë (valeur seuil) : le polluant ayant le facteur d'émission le plus élevé pour la VTR la plus faible obtenait donc le score le plus élevé et était classé en 1.
- Pour les polluants disposant de VTR à seuil pour une exposition chronique par inhalation et/ou par ingestion, il a aussi été calculé le rapport du facteur d'émission sur la VTR (valeur seuil).
- Pour les polluants disposant de VTR sans seuil pour une exposition chronique par inhalation et/ou par ingestion, le facteur d'émission a été multiplié par la VTR (excès de risque par unité de dose d'exposition) ;

La sélection finale a reposé sur les critères suivants afin d'identifier les polluants *a priori* pertinentes pour l'évaluation du risque sanitaire dans le cadre des études d'impact des projets routiers :

- les polluants présentant le score le plus élevé (donc celui qui est classé en rang 1),
- tous les polluants dont le score est compris entre la valeur précédente et la valeur 100 fois inférieure.
- les polluants rémanentes dans l'environnement (métaux) dont le score est compris entre le score maximal et la valeur 1000 fois inférieure.

Cette sélection a été opérée pour chaque type d'exposition (aiguë, chronique), chaque type de danger (cancérogène, non cancérogène) et chaque voie d'exposition.

Par ailleurs, lorsqu'un polluant était prioritaire pour l'un des deux types de trafic seulement (urbain ou autoroutier), il a finalement été sélectionné car le groupe considère que dans la plupart des projets les situations rencontrées sont intermédiaires entre les deux scénarios de trafic proposés ici.

Lorsqu'un polluant cancérigène était classé prioritaire pour l'une des deux voies d'exposition (inhalation ou ingestion), s'il était également cancérigène par l'autre voie, il a systématiquement été sélectionné pour les deux voies d'exposition.

Lorsqu'un polluant non cancérigène était classé prioritaire pour l'une des deux voies d'exposition (inhalation ou ingestion), s'il était responsable de l'atteinte du même organe cible par l'autre voie, il a systématiquement été sélectionné pour être étudié pour les deux voies d'exposition.

Annexe 10 : Hiérarchisation des polluants pour la voie d'exposition orale

La méthode de hiérarchisation proposée en 2004 pour l'exposition chronique par voie orale était fondée sur le rapport du facteur d'émission et de la VTR correspondant à une exposition chronique par voie orale. Si l'on peut faire l'hypothèse que la concentration dans l'air ne diffère entre les polluants que par leur facteur d'émission, cette hypothèse n'est pas valide pour la concentration de ces polluants correspondant à l'exposition par voie orale. Elle peut s'appliquer à la concentration dans les sols, car on peut alors faire l'hypothèse que tous les polluants particuliers ont la même granulométrie, ce qui implique qu'ils ont la même vitesse de dépôt sec et le même coefficient de lessivage par les précipitations. Cependant, il paraît judicieux de prendre en compte les facteurs de bioconcentration dans la méthode de hiérarchisation pour la voie d'exposition orale.

Le choix des plantes-feuilles par rapport aux autres aliments de la filière de l'autoconsommation pour la hiérarchisation par voie orale a été conforté par l'analyse de l'approche de bioconcentration des polluants dans les œufs, produits d'origine animale qui occupent aussi une part importante dans l'autoconsommation (Parache, 2011). En effet, la méthode HHRAP pour cet aliment repose en partie sur la consommation de la poule (graines et plantes racinaires) ainsi que sur le facteur de bioconcentration de la substance dans un œuf. La prise en compte des différentes voies de transfert (air vers la plante et du sol vers les racines) a été privilégiée dans le cadre du calcul de hiérarchisation.

Par ailleurs, l'absorption des particules par les feuilles n'est pas retenue ici car on fait l'hypothèse que les légumes sont lavés avant consommation et qu'il n'y a pas de bio-transfert documenté par l'approche HHRAP des particules dans les feuilles ; les particules sont donc bio-concentrées par les racines après dépôt sur le sol. Cependant, une étude récente (Schreck, 2012) documente le transfert foliaire dans les plantes d'éléments métalliques en phase particulaire. Elle montre que les éléments métalliques pénètrent dans la plante après la déposition particulaire ce qui peut représenter une des principales voies d'entrée des espèces métalliques dans les plantes. Toutefois, davantage d'études sont nécessaires pour mieux comprendre ce mode de transfert.

Pour les calculs, la première étape consiste à relier la concentration du polluant dans le sol à celle du polluant dans l'air. La formule suivante est utilisée (équation 5-1b, HHRAP) :

$$C_s \text{ (mg/kg)} = (100 (D_d + D_w) T) / (Z_s \rho)$$

Où C_s est la concentration du polluant dans le sol (ppm), D_d et D_w sont les flux annuels de dépôts sec et humide, respectivement, du polluant ($\text{g}/(\text{m}^2 \text{ a})$), T est la durée du dépôt (a), Z_s est la zone verticale de sol contaminée (cm) et ρ est la masse volumique du sol (g/cm^3).

On note que dans cette formulation, la diminution de la concentration du polluant dans le sol par processus chimiques (e.g., dégradation) ou physiques (e.g., infiltration) n'est pas prise en compte et que les concentrations dans le sol sont donc majorées.

Les valeurs des paramètres choisies sont les suivantes :

$$Z_s = 20 \text{ cm (sol cultivé, HHRAP)}$$

$$\rho = 1,50 \text{ g/cm}^3 \text{ (HHRAP)}$$

$T = 70$ ans (valeur par défaut pour une exposition à vie) dans une approche majorante et 1 an dans une approche minorante

Les flux de dépôts atmosphériques sont reliés à la concentration dans l'air. On fait l'hypothèse que le dépôt humide est environ 20% du dépôt sec sur la base de simulations effectuées avec un modèle régional de qualité de l'air (Quéguiner *et al.*, 2009, 2010). La contribution des dépôts humides au flux de dépôt total est plus faible en proximité d'une source surfacique telle qu'une

infrastructure routière, une valeur $D_w = 0,2 D_d$ majore donc le flux total de dépôt. Le flux annuel de dépôt sec est calculé de la façon suivante :

$$D_d = 3,15 \times 10^5 V_d C_a$$

Où V_d est la vitesse de dépôt choisie égale à 0,5 cm/s dans une approche majorante (HHRAP, Tableau 3-9) et à 0,1 cm/s dans une approche minorante et C_a est la concentration dans l'air (g/m^3).

Par conséquent :

$$\text{Approche majorante : } C_s = C_a (100 \times 1,2 \times 3,15 \times 10^5 \times 0,5 \times 70) / (20 \times 1,5) = 4,4 \times 10^7 C_a$$

$$\text{Approche minorante : } C_s = C_a (100 \times 1,2 \times 3,15 \times 10^5 \times 0,1 \times 1) / (20 \times 1,5) = 1,3 \times 10^5 C_a$$

Où C_s est en $\text{mg}/(\text{kg sol})$ et C_a est en $\text{g}/(\text{m}^3 \text{ air})$. Expriment les concentrations en g/g , on obtient :

$$\text{Approche majorante : } C_s^* = 4,4 \times 10^4 C_a^*$$

$$\text{Approche minorante : } C_s^* = 1,3 \times 10^2 C_a^*$$

Où C_s^* est en $\text{g}/(\text{g sol})$ et C_a^* est en $\text{g}/(\text{g air})$ (on a fait l'hypothèse que la masse volumique de l'air est $1 \text{ kg}/\text{m}^3$).

On définit les coefficients de bio-transfert air/feuille B_{vag} ($\text{g air} / \text{g plante sèche}$) et de bio-transfert sol/plante B_{rag} ($\text{g sol} / \text{g plante sèche}$).

Le bio-transfert air/feuille est calculé ainsi (HHRAP, équation 5-18) :

$$C_{pf} = B_{vag} F_v V_{Gag} C_a^*$$

Où C_{pf} est la concentration du polluant dans la plante ($\text{g}/\text{g plante sèche}$), F_v est la fraction du polluant dans la phase gazeuse et V_{Gag} est un facteur de correction qui représente le potentiel d'une substance lipophile à être transférée de l'extérieur de la plante vers l'intérieur. Une valeur $V_{Gag} = 0,01$ est recommandée pour le bio-transfert des POP dans les laitues (HHRAP, chapitre 5.3.2.1).

Le bio-transfert sol/plante est calculé ainsi (HHRAP, équation 5-20a)

$$C_{pr} = B_{rag} C_s^*$$

Où C_{pr} est la concentration du polluant dans la plante ($\text{g}/\text{g plante sèche}$).

Par conséquent, la concentration du polluant dans la plante est exprimée en fonction de la concentration dans l'air ainsi :

$$C_p = C_{pf} + C_{pr} = 0,01 B_{vag} F_v C_a^* + B_{rag} C_s^*$$

Soit :

$$\text{Approche majorante : } C_p = (0,01 F_v B_{vag} + 4,4 \times 10^4 B_{rag}) C_a^*$$

$$\text{Approche minorante : } C_p = (0,01 F_v B_{vag} + 1,3 \times 10^2 B_{rag}) C_a^*$$

Pour les métaux, il est considéré qu'il n'y a pas de bio-transfert air/feuille car ils sont sous forme particulaire. Pour les polluants organiques persistants (POP), il faut estimer la fraction du POP présent dans la phase gazeuse, F_v , pour calculer le bio-transfert air/feuille. Dans l'exemple ci-dessous, on fait l'hypothèse que $F_v = 7\%$ pour le benzo(a)pyrène (Finlayson-Pitts & Pitts, 2000).

La méthode de hiérarchisation pour l'exposition chronique par voie orale prend donc en compte le bio-transfert des polluants avec le terme BT :

$$BT = (0,01 F_v B_{vag} + 4,4 \times 10^4 B_{rag})$$

Le calcul de BT pour deux polluants, le benzo(a)pyrène (présent en phases gazeuse et particulaire) et le cadmium (présent seulement en phase particulaire) est présenté ci-dessous :

Pour le benzo(a)pyrène, on trouve dans HHRAP, $B_{vag} = 1,25 \times 10^5$ g/g et $B_{rag} = 0,0132$ g/g.

D'où : $C_p = (1,25 \times 10^3 F_v + 4,4 \times 10^4 \times 0,0132) Ca^* = 6,68 \times 10^2 Ca^*$

Pour le cadmium, on trouve dans HHRAP, $B_{rag} = 0,125$ g/g.

D'où : $C_p = (4,4 \times 10^4 \times 0,125) Ca^* = 5,5 \times 10^3 Ca^*$

Par conséquent, le bio-transfert de ces polluants augmente le potentiel toxique par voie orale du cadmium d'un facteur 8 ($5500 / 668 = 8,23$) par rapport à celui du benzo(a)pyrène.

La méthode de hiérarchisation pour l'exposition chronique par voie orale consiste donc à comparer les polluants en tenant compte du facteur d'émission, de la VTR et du facteur de bio-transfert BT combinés de la manière suivante :

$$FE * BT / VTR$$

					VTR																								
					Voie respiratoire									Voie orale															
					aigue			chronique						chronique															
origine d'émissions	NOM	Formule	N°CAS	Classement cancérogène		à seuil			sans seuil			A seuil			sans seuil														
Echappement	acénaphthylène	C ₁₂ H ₈	208-96-8	non	non															2,0E-06	(µg.kg ⁻¹ .j ⁻¹) ⁻¹	RIVM (CR orale = 50 µg.kg.j pour 10-4)	2001						
	anthracène	C ₁₄ H ₁₀	120-12-7	3	non				2,6E+02	µg.m ⁻³	OMS VG (1 semaine)	2000								4,0E-02	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	RIVM	2001						
	acénaphène	C ₁₂ H ₁₀	83-32-9	3	non															6,0E-02	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	EPA	1994	2,0E-04	(mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹) ⁻¹	RIVM (Coral = 500 µg.kg.j)	2001		
	2-méthylnaphtalène	C ₁₁ H ₁₀	91-57-6	non	non															4,0E-03	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	EPA	2003						
	1-méthylnaphtalène	C ₁₁ H ₁₀	90-12-0	non	non																7,0E-02	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	ATSDR	2005					
	fluorène	C ₁₃ H ₁₀	86-73-7	3	non																4,0E-02	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	EPA.RIVM	1990.2001					
	phénanthrène	C ₁₄ H ₁₀	85-01-8	3	non																4,0E-02	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	RIVM	2001					
	2- nitrofluorène	C ₁₃ H ₉ NO ₂	607-57-8	2B	non										1,1E-05	(µg.m ⁻³) ⁻¹ (PEF BAP 0,01)	OEHHA								1,2E-01	(mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹) ⁻¹ (PEF BAP 0,01)	OEHHA	2009	
	isobutanol	C ₄ H ₁₀ O	78-83-1	non	non																3,0E-01	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	US EPA	1991					
	éthylacétate	C ₄ H ₈ O ₂	141-78-6	non	non																9,0E-01	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	US EPA	1988					
	formaldéhyde	CH ₂ O	50-00-0	1	C2	5,0E+01	µg.m ⁻³	Anses (VGAI)	2007	1,0E+01	µg.m ⁻³	VGAI Anses	2007																
	acétaldéhyde	C ₂ H ₄ O	75-07-0	2B	C2					9,0E+00	µg.m ⁻³	US EPA	1991	2,7E-06	(µg.m ⁻³) ⁻¹	OEHHA					2,0E-01	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	ATSDR.US EPA	1999					
	acétone	C ₃ H ₆ O	67-64-1	non	non	6,2E+04	µg.m ⁻³ (26 ppm)	ATSDR	1994	3,1E+04	µg.m ⁻³ (1 ⁻³ ppm)	ATSDR	1994								9,0E-01	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	EPA	2003					
	acroléine	C ₃ H ₄ O	107-02-8	3	non	6,9E+00	µg.m ⁻³ (0,00 ⁻³ ppm)	ATSDR	2007	2,0E-02	µg.m ⁻³	EPA	2003								5,0E-04	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	EPA	2003					
	2-butanone	C ₄ H ₈ O	78-93-3	non	non	1,3E+04	µg.m ⁻³	OEHHA	2008	5,0E+03	µg.m ⁻³	EPA	2003								6,0E-01	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	EPA	2003					
	benzaldéhyde	C ₇ H ₆ O	100-52-7	non	non																1,0E-01	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	EPA	1988					
	propionaldéhyde	C ₃ H ₆ O	123-38-6	non	non					8,0E+00	µg.m ⁻³	EPA	2008																
	fluoranthène	C ₁₆ H ₁₀	206-44-0	3	non																4,0E-02	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	EPA	1993	2,0E-03	(mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹) ⁻¹	RIVM (CR orale = 50 µg.kg.j pour 10-4)	2001	
	pyrène	C ₁₆ H ₁₀	129-00-0	3	non																3,0E-02	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	US EPA	1993	2,0E-04	(mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹) ⁻¹	RIVM (CR oral = 500 µg.kg.j)	2001	
	benzo[ghi]pérylène	C ₂₂ H ₁₂	191-24-2	3	non																3,0E-02	mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	RIVM	2001					
benzo[a]pyrène	C ₂₀ H ₁₂	50-32-8	1	C1B, M1B, R1B										8,5E-02	(µg.m ⁻³) ⁻¹	OMS	2000							1,2E+01	(mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹) ⁻¹	OEHHA	2002		
chrysène	C ₁₈ H ₁₂	218-01-9	2B	C1B, M2										1,1E-05	(µg.m ⁻³) ⁻¹	OEHHA	2009							1,2E-01	(mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹) ⁻¹	OEHHA			
benzo[a]anthracène	C ₁₈ H ₁₂	56-55-3	2B	C1B										1,1E-04	(µg.m ⁻³) ⁻¹	OEHHA	2009							1,2E+00	(mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹) ⁻¹	OEHHA	2002		
benzo[b]fluoranthène	C ₂₀ H ₁₂	205-99-2	2B	C1B										1,1E-04	(µg.m ⁻³) ⁻¹	OEHHA	2009							1,2E+00	(mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹) ⁻¹	OEHHA	2002		
benzo[k]fluoranthène	C ₂₀ H ₁₂	207-08-9	2B	C1B										1,1E-04	(µg.m ⁻³) ⁻¹	OEHHA	2009							1,2E+00	(mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹) ⁻¹	OEHHA	2002		

					VTR																						
					Voie respiratoire								Voie orale														
					aigue				chronique				chronique				chronique										
origine d'émissions	NOM	Formule	N°CAS	Classement cancérogène						à seuil		sans seuil		A seuil				sans seuil									
Echappement	Sélénium	Se	7782-49-2	3	non													5,0E-03	mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	ATSDR. US EPA	2003	1991					
	Zinc	Zn	7440-66-6	non	non														3,0E-01	mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	ATSDR .US EPA	2005					
	Manganèse	Mn	7439-96-5	non	non					4,0E-02	µg.m ⁻³	ATSDR	2010						1,4E-01	mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	US EPA	1996					
	Molybdène	Mo	7439-98-7	non	non					1,2E+01	µg.m ⁻³	RIVM	2001						5,0E-03	mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	US EPA	1993					
	acide nitrique	NH ₃	7697-37-2	non	non	8,6E+01	µg.m ⁻³	OEHHA	2008																		
	acide cyanhydrique	HCN	74-90-8	non	non					8,0E-01	µg.m ⁻³	US EPA	2010							6,0E-04	mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	US EPA (ion CN-)	2010				
	nitrate de peroxyacyle	C ₁₅ H ₁₁ N ₃ O	85-85-8	non	non																						
	acide sulfurique	H ₂ SO ₃	7664-93-9	1	non	1,2E+02	µg.m ⁻³	OEHHA	2008	1,0E+00	µg.m ⁻³	OEHHA	2002														
	sulfate d'ammonium acide	NH ₄ HSO ₄	7803-63-6	non	non	1,2E+02	µg.m ⁻³	OEHHA	2008																		
	sulfate d'ammonium neutre	(NH ₄) ₂ SO ₄	7783-20-2	non	non	1,2E+02	µg.m ⁻³	OEHHA	2008																		
Méthyl-Tertiobutyl-Ether (MTBE)	C ₅ H ₁₂ O	1634-04-4	3	non					3,7E+01	µg.m ⁻³	Santé canada	1991	2,6E-07	(µg.m ⁻³) ⁻¹	OEHHA	2009	3,0E-01	mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	ATSDR	1996	1,8E-03	(mg kg ⁻¹ .j ⁻¹) ⁻¹	OEHHA	2009			
Equipements automobiles	Baryum	Ba	7440-39-3	non	non					1,0E+00	µg.m ⁻³	RIVM	2001						2,0E-02	mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	RIVM	2001					
	soufre	S	63705-05-5	non	non														2,6E+04	µg kg ⁻¹ .j ⁻¹	AGRITOX	2001					
	Antimoine	Sb	7440-36-0	non	non														4,0E-04	mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	US EPA	1991					
	Cobalt	Co	7440-48-4	2B	non					1,0E-01	µg.m ⁻³	ATSDR	2004							1,4E+00	µg kg ⁻¹ .j ⁻¹	RIVM	2001				
	Phosphore	Ph	7723-14-0	non	non	2,0E+01	µg.m ⁻³	ATSDR	1997										2,0E-05	mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	EPA	1993					
	Bore	B	7440-42-8	non	non	1,0E+01	µg.m ⁻³	ATSDR	2010										2,0E-01	mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	US EPA	2004					
	Béryllium	Be	7440-41-7	1	C1B					2,0E-02	µg.m ⁻³	US EPA	1998	2,4E-03	(µg.m ⁻³) ⁻¹	US EPA.OEH HA	1992. 1998	2,0E-03	mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	ATSDR.US EPA	2002.1 998						
	Etain	Sn	7440-31-5	non	non														3,0E-01	mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	ATSDR	2005					
	Vanadium	V	7440-62-2	non	non	1,0E+00	µg.m ⁻³	OMS VG	2000										1,0E-04	mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	ATSDR	2009					
	Aluminium	Al	7429-90-5	non	non														1,0E+00	mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	ATSDR	2008					
1,1,1,2-Tetrafluoroéthane (R134A)	C ₂ H ₂ F ₄	811-97-2	non	non					8,0E+04	µg.m ⁻³	US EPA	1995															
Entretien des voies	Mercuré	Hg	7439-97-6	3	R1B					3,0E-02	µg.m ⁻³	OEHHA	2008														
	Arsenic	As	7440-38-2	1	non	2,0E-01	µg.m ⁻³	OEHHA	2008	1,5E-02	µg.m ⁻³	OEHHA	2008	4,3E-03	(µg.m ⁻³) ⁻¹	USEPA	1998	3,5E-06	mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	OEHHA	2008	1,5E-03	(µg kg ⁻¹ .j ⁻¹) ⁻¹	US EPA.OEH HA	1998.2 009		
	éthylène glycol	C ₂ H ₆ O ₂	107-21-1	non	non	2,0E+03	µg.m ⁻³	ATSDR	2010	4,0E+02	µg.m ⁻³	OEHHA	2000						5,0E-02	mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	Santé Canada	2000					
	glyphosate (sel d'isopropylamine)	C ₃ H ₈ NO ₅ P	1071-83-6	non	non														1,0E-01	mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	US EPA	1990					
	2,4 - MCPA	C ₉ H ₉ ClO ₃	94-74-6	non	non														5,0E-04	mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	US EPA	1991					
	Aminotriazole	C ₂ H ₄ N ₄	61-82-5	3	R2									2,7E-04	(µg.m ⁻³) ⁻¹	OEHHA	1992	1,0E-03	mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	COM	2001	9,4E-01	(mg kg ⁻¹ .j ⁻¹) ⁻¹	OEHHA	1992		
	Flazasulfuron	C ₁₃ H ₁₂ F ₃ N ₅ O ₅ S	10404-78-0	non	non														1,3E-02	mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	COM	2003					
	Glufosinate d'ammonium	C ₅ H ₁₂ N ₂ O ₄ PH ₃ N	77182-82-2	non	R1B														4,0E-04	mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	US EPA	1992					
Diuron	C ₉ H ₁₀ Cl ₂ N ₂ O	330-54-1	non	C2														2,0E-03	mg kg ⁻¹ .j ⁻¹	US EPA	1988						

						VTR																		
						Voie respiratoire									Voie orale									
						aigue			chronique						chronique									
origine d'émissions	NOM	Formule	N°CAS	Classement cancérogène					à seuil			sans seuil			A seuil			sans seuil						
Entretien des voies	Diflufenicanil	C ₁₉ H ₁₁ F ₅ N ₂ O ₂	83164-33-4	non	non												2,0E-01	mg kg ⁻¹ j ⁻¹	EFSA	2008				
	Fluroxypyr	C ₇ H ₅ Cl ₂ FN ₂ O ₃	69377-81-7	non	non												8,0E-01	mg kg ⁻¹ j ⁻¹	EFSA	2011				
	2,4 - D	C ₈ H ₆ Cl ₂ O ₃	94-75-7	non	non												1,0E-02	mg kg ⁻¹ j ⁻¹	US EPA	1988				
	Triclopyr	C ₇ H ₄ Cl ₃ NO ₃	55335-06-3	non	non												3,0E-02	mg kg ⁻¹ j ⁻¹	EFSA	2005				

Légende:	
autres origines d'émission	aussi issues de l'échappement
	aussi issues des équipements
	aussi issues de l'évaporation
	aussi issues de l'entretien des voies
	aussi issues des équipements et entretiens des voies
	nouvelles substances identifiées par rapport à 2004

Tableau 2 : Recensement des substances classées cancérogènes par le CIRC ou CMR dans le cadre du règlement CLP (1272/2008) n'ayant pas de VTR pour la voie respiratoire et orale

NOM	Formule	N°CAS	VTR	classement cancérogène	Classement CMR
				CIRC	UE - CLP
éthylène	C ₂ H ₄	74-85-1	non	3	non
isoprène	C ₅ H ₈	78-79-5	non	2B	C1B, M2
1-nitronaphtalène	C ₁₀ H ₇ NO ₂	86-57-7	non	3	non
2-nitronaphtalène	C ₁₀ H ₇ NO ₂	581-89-5	non	3	C1B
9-nitroanthracène	C ₁₄ H ₉ NO ₂	602-60-8	non	3	non
éthanol	C ₂ H ₆ O	64-17-5	non	1 (boisson)	non
isopropanol	C ₃ H ₈ O	67-63-0	non	3	non
crotonaldéhyde	C ₄ H ₆ O	4170-30-3	non	3	M2
benzophénone	C ₁₃ H ₁₀ O	119-61-9	non	2B	non
anthanthrène	C ₂₂ H ₁₂	191-26-4	non	3	non
benzo[b]fluorène	C ₁₇ H ₁₂	243-17-4	non	3	non
benzo[e]pyrène	C ₂₀ H ₁₂	192-97-2	non	3	C1B
dibenzo[a,j]anthracène	C ₂₂ H ₁₄	224-41-9	non	3	non
pérylène	C ₂₀ H ₁₂	198-55-0	non	3	non
triphénylène	C ₁₈ H ₁₂	217-59-4	non	3	non
coronène	C ₂₄ H ₁₂	191-07-1	non	3	non
benzo[c]phénanthrène	C ₁₈ H ₁₂	195-19-7	non	2B	non
cyclopenta[cd]pyrène	C ₁₈ H ₁₂	27208-37-3	non	2A	non
dibenzo[a,i]phénanthrène (picène)	C ₂₂ H ₁₄	213-46-7	non	3	non
1,4-diméthylphénanthrène	C ₁₆ H ₁₄	22349-59-3	non	3	non
2-méthylchrysène	C ₁₉ H ₁₄	3351-32-4	non	3	non
3-méthylchrysène	C ₁₉ H ₁₄	3351-31-3	non	3	non
4-méthylchrysène	C ₁₉ H ₁₄	3351-30-2	non	3	non
6-méthylchrysène	C ₁₉ H ₁₄	1705-85-7	non	3	non
1-méthylphénanthrène	C ₁₅ H ₁₂	832-69-9	non	3	non
3,7-dinitrofluoranthène	C ₁₆ H ₈ N ₂ O ₄	105735-71-5	non	2B	non
3,9-dinitrofluoranthène	C ₁₆ H ₈ N ₂ O ₄	22506-53-2	non	2B	non
3-nitrofluoranthène	C ₁₆ H ₉ NO ₂	892-21-7	non	3	non
1,3-dinitropyrène	C ₁₆ H ₈ N ₂ O ₄	75321-20-9	non	3	non
6-nitrobenzo[a]pyrène	C ₂₀ H ₁₁ NO ₂	63041-90-7	non	3	non

Annexe 12 : Documentation des émissions

Scénarios et hypothèses pour l'élaboration des facteurs d'émissions de polluants

Il s'agit dans le cadre de ces travaux d'expertise de déterminer les facteurs d'émissions unitaires (par véhicule et par km parcouru) pour les polluants disposant d'une VTR. Ces facteurs d'émissions sont calculés pour différentes origines d'émission réparties en 2 groupe les émissions « **échappement** » et « **hors échappement** », cette dernière incluant les polluants émis par l'usure des équipements (freins, pneumatiques) mais également l'usage des fondants routiers et la maintenance des voies.

1. Scénarios

Ces facteurs d'émission seront estimés pour différents scénarios de circulation, qui doivent être caractéristiques de situations observées sur le territoire national d'une part, et des conditions d'exposition aiguë et chronique d'autre part.

La méthode de détermination des facteurs d'émissions repose sur l'utilisation de la méthode COPERT IV, actuellement mise en œuvre au sein du Réseau Scientifique et Technique du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement au travers de l'outil CopCETE, décrit par la suite.

Le groupe de travail a décidé de baser ce travail sur la prise en compte de 6 configurations de voiries et de conditions de circulation associées, afin de représenter les conditions d'exposition aiguë et chronique. :

- scénario urbain majorant (situation congestionnée, 5 km/h, pour l'exposition aiguë)
- scénario urbain classique (trafic normal, pour une exposition chronique)
- scénario de l'autoroute urbaine (congestionnée, 5km/h, exposition aiguë)
- scénario autoroutier classique (exposition chronique)
- scénario de la route nationale majorante (congestionnée, 5 km/h, exposition aiguë)
- scénario de la route nationale.(exposition chronique)

Les paramètres décrivant ces scénarios sont rappelés ci-après

	Type	Vitesse	% VL	% VUL	% PL
Exposition aiguë	Urbain majorant (UM)	5 km/h ^a	80	17	3
	Autoroute urbaine (AU)		80	10	10
	Nationale majorante (NM)		80	10	10
Exposition chronique	Urbain (U)	20 km/h	80	17	3
	Autoroute (A)	130 km/h ^a	80	10	10
	Nationale (N)	70 km/h	80	10	10

(a) Pour les PL, les facteurs d'émissions calculés sont contraints dans une fourchette allant de 7 km/h à 86 km/h.

En vue de la hiérarchisation des polluants, les facteurs d'émissions doivent être évalués pour la situation actuelle et à terme, puisque les études de projets routiers incluent une évaluation des émissions environ 20 ans après la mise en service. La situation actuelle sera représentée par

l'année 2015 et la situation à terme par l'année 2030.

2. Hypothèses pour les calculs d'émissions

Pour l'élaboration des facteurs d'émission s'appuyant sur les outils (Copert IV, CopCETE, cf. section suivante) pour les scénarios et années considérés, on définit une composition du parc automobile à partir de la description du parc français jusque l'année 2030, élaborée par l'IFSTTAR-LTE. On considérera un trafic composé à 80% par les voitures particulières. Le trafic poids lourds sera pris à 3% en zone urbaine, et à 10% en zone rurale et autoroutière. Les structures détaillées de parcs urbains, ruraux et autoroutiers seront utilisées pour les scénarios correspondants. Pour chacune des catégories de véhicules considérés (VP, VUL, PL), la décomposition fine du parc par type de carburant, cylindrée, classe technologique est fournie par le parc IFSTTAR-LTE.

Les outils de calcul ne permettent actuellement pas d'estimer correctement les émissions des véhicules de motorisations alternatives (électriques, hybrides). Celles-ci sont insignifiantes dans la composition du parc français 2015, mais il convenait de s'interroger sur l'horizon 2030. Différentes hypothèses prospectives ont donc été examinées qui concluent à des parts de trafic de l'ordre de 6% des véhiculesxkm pour les véhicules électriques et de 13-16% pour les motorisations hybrides. Ces derniers pourraient émettre moins que les véhicules thermiques les plus récents à cette période, mais globalement l'erreur commise en assimilant ces 2 familles de véhicules aux véhicules thermiques devrait être assez faible et majorante.

On notera que, l'approche de calcul ne permettant pas de simuler des vitesses inférieures à 7km/h ou supérieures à 86 km/h pour les poids lourds-, ces vitesses se substitueront à celles des scénarios. On notera également que pour les VL, les fonctions d'émissions fournies dans COPERT IV ont des domaines de validité affichés ne débutant qu'à 10 km/h pour certaines catégories de véhicules et certains polluants. Compte tenu de la forme en U prononcé des courbes d'émission, le calcul à 5 km/h constitue une extrapolation des fonctions d'émission COPERT allant sans doute dans le sens d'une surestimation.

A défaut d'hypothèses sur l'évolution de la composition des carburants, un carburant type 2009 a été pris en compte pour les calculs 2015 et 2030. Enfin on ne considérera pas la pente de la chaussée (pente = 0%), et la charge des poids-lourds sera prise à 50%.

Enfin, pour chaque scénario et année, les facteurs d'émissions à l'échappement sont calculés pour les émissions à froid et à chaud. Les facteurs d'émissions par évaporation et hors échappement sont également intégrés. Les évaporations ont été prises en compte (COVNM totaux et spéciation) et sont présentées de manière séparée. A noter que l'approche COPERT n'est pas à la base conçue pour un calcul fin au tronçon mais plutôt destinée à la réalisation d'inventaire à plus grande échelle. Cette limite méthodologique s'avère particulièrement contraignante pour le calcul des évaporations.

3. Cas des facteurs d'émission tirés de la littérature

Les facteurs d'émission dérivés de l'analyse bibliographique sont généralement assez généraux (pour un trafic, une situation, un pays, etc.) et difficilement transposables aux conditions détaillées des scénarios envisagés dans ce cadre. On considérera donc les hypothèses les plus plausibles se rattachant aux scénarios précédents (par exemple, utilisation de facteurs d'émission urbains lorsqu'ils existent, extrapolation au parc français, etc.).

Annexe 13 : Calcul des facteurs d'émission par l'outil CopCETE

L'outil CopCETE de calcul des émissions des transports routiers est développé au sein du Réseau Scientifique et Technique du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement depuis les années 2000. Il repose principalement sur la méthode européenne COPERT, intègre les données de parc automobile français, et a pu bénéficier de la validation et du retour d'expérience de l'ensemble des CETEs.

La version actuelle repose sur la méthode COPERT IV [Gkatzoflias D. and al., 2007] dans sa version v8.0 datant de novembre 2010 (CopCETE v3.5) intégrant notamment les nouvelles fonctions d'émissions pour les poids-lourds, la distinction des technologies EGR et SCR pour la catégorie EURO 5, et des facteurs d'émissions autobus CNG et biodiesel. CopCete a par ailleurs été complété de certaines modifications de la version v9.0, notamment pour l'évaluation des facteurs d'émissions des métaux [Gkatzoflias D. and al., 2011].

Les facteurs d'émission COPERT IV / CopCETE sont principalement fonction de la vitesse moyenne de circulation. Elles sont liées également au vieillissement des véhicules (au travers du kilométrage total) et peuvent fluctuer selon la composition des carburants.

Des facteurs d'émission (ou émissions unitaires par véhicule et par kilomètre parcouru) peuvent donc être élaborés à partir de ces outils. Ces émissions unitaires peuvent être pondérées par le nombre de véhicules par kilomètre, pour chaque catégorie de véhicules.

On notera cependant que dans le cas des évaporations (COVNM) et des surémissions à froid, la méthode COPERT n'est pas adaptée à un calcul « par tronçon » permettant d'aboutir à une émission unitaire au km de voirie. Certaines adaptations ont dû être faites. Elles sont précisées par la suite dans les chapitres concernés.

Les données du parc automobile sont issues de la structure du parc roulant français pour la période 1980-2030 provenant de l'IFSTTAR, déclinée également par grand type de réseau (urbain / rural / autoroute). La structure donne la répartition des véhicules en nombre et en véhiculesxkm selon les catégories de véhicules (Véhicules Particuliers « VP », Véhicules Utilitaires Légers « VUL », Véhicules Légers « VL » et Poids Lourds « PL »), les motorisations, le carburant, les réglementations concernant la pollution et également le poids total autorisé en charge (P.T.A.C.) pour les PL. La structure inclut les technologies actuelles et futures EURO 5 et EURO 6. Les bus et les technologies GPL/Hybrides ne sont pas encore inclus dans la version du logiciel, et certains calages sont encore à réaliser pour mettre en adéquation les catégories du parc IFSTTAR avec les facteurs d'émission disponibles dans la base de données COPERT. La donnée de kilométrage moyen total d'un type de véhicule pour une année donnée est fournie par le parc IFSTTAR.

1.1 Les émissions moteur chaud

Les émissions à chaud dépendent principalement des catégories de véhicules, motorisations, systèmes de post-traitement à l'échappement, et réglementations anti-pollution (pre-ECE à Euro6). Elles varient ensuite selon les conditions de conduite et de fonctionnement du moteur.

La principale hypothèse de la méthode COPERT est que les émissions à chaud dépendent uniquement de la vitesse moyenne, sous forme de lois polynomiales pour chaque type de véhicule. Pour les véhicules lourds, les émissions varient également avec la charge et la pente de la route.

Pour les polluants CO, COV, NO_x et PM, les fonctions d'émissions des véhicules essence Euro 1 ou plus peuvent être modulées pour tenir compte du vieillissement de la flotte de véhicule concernée. Le paramètre permettant cette correction est le kilométrage total moyen d'un véhicule de chaque catégorie pour une année donnée. Cette donnée est fournie dans le parc IFSTTAR.

Remarque : les facteurs d'émission proposés par COPERT ne bénéficient pas du même niveau de précision. Pour les polluants principaux (CO, NO_x, PM, COV...), COPERT propose une fonction

continue de la vitesse pour chaque sous catégorie de véhicule alors que pour d'autres, les facteurs d'émission ne sont connus que sur des plages discrètes de vitesse (Urbain, rural, autoroute) ou par grande catégorie de véhicules (VP, VUL, PL) sans distinction sur les catégories de cylindrée ou de technologie.

Enfin pour ces mêmes polluants ainsi que pour la consommation de carburant (et tous les polluants qui en dépendent directement), un facteur de correction selon les spécifications des carburants est pris en compte.

1.2 Les sur-émissions moteur froid

Les sur-émissions après un démarrage et tant que le moteur n'a pas atteint un équilibre thermique, s'ajoutent aux émissions à chaud. Elles sont notamment liées aux systèmes de post-traitement avant qu'ils n'atteignent leur température d'amorçage (catalyseurs). Ces sur-émissions sont fonction de la température ambiante, de la vitesse moyenne durant la période à froid, du type de conduite, de la distance parcourue et de la durée de parking (avant un démarrage).

La **surémission à froid** n'est calculée que pour les **véhicules légers**. Elle est caractérisée par une durée de mise en température t_{cold} et définie comme l'excédent d'émissions rejeté durant cette période par rapport à la quantité qui aurait été émise avec un moteur chaud. Dans les calculs, un ratio (facteur bêta β dans COPERT) représente la fraction de roulage où les émissions sont considérées à froid. Ce ratio dépend de la longueur moyenne des trajets et de la température ambiante.

Remarque : dans la méthode COPERT les trajets réalisés à froid sont principalement affectés à l'urbain. Une « extension » au réseau rural est proposée dans COPERT mais le cas de surémission à froid sur réseau autoroutier (vitesse élevée) n'est pas prévu.

Les hypothèses françaises tirées du guide ADEME pour le logiciel IMPACT-ADEME v2.0 donnent des longueurs moyennes de trajets de 3 km en zone urbaine et 12km à échelle nationale (logiciel IMPACT-ADEME version 2.0 Guide de l'utilisateur, Ademe 2003). Le guide EMEP propose lui aussi une valeur de 12km pour la France. En l'absence de données plus précises, ce sont ces données qui ont été retenues pour le calcul du facteur β pris en compte dans CopCETE ce qui conduit à une valeur de 50% en urbain et 30% sinon.

1.3 Les émissions par évaporation de carburant

Ce sont uniquement des sur-émissions de COVNM (Composés Organiques Volatils Non Méthaniques) et elles ne concernent que les véhicules légers et les deux-roues ayant des motorisations essence.

L'approche de calcul distingue :

- Les émissions journalières lorsque le véhicule est en stationnement, dues aux phénomènes d'expansion et de contraction des vapeurs dans le réservoir, avec les changements de température, notamment entre le jour et la nuit.
- Les émissions à l'arrêt pour un véhicule chaud (après un trajet). La chaleur du moteur augmente la température du carburant.
- Les émissions en circulation.

L'évaporation dépend de la volatilité du carburant, de la température ambiante et de ses variations, et des caractéristiques du véhicule (notamment le type d'injection et la présence ou non d'un dispositif de piégeage des évaporations ou Canister et de sa capacité). De fait, l'approche de calcul tient compte de ces caractéristiques techniques, et des longueurs moyennes et nombre de trajets journaliers pour déterminer les périodes de stationnement et épisodes après trajet.

La méthode de calcul des évaporations proposée par COPERT n'est pas à la base adaptée à un calcul par tronçon ou pour la détermination de facteurs d'émission unitaire qui est le sujet traité ici. En effet, l'évaporation journalière et l'évaporation « arrêt moteur chaud » font appel à des données comme le parc statique, les temps de stationnement, le nombre d'arrêts moteur chaud d'estimer et

de relier à la circulation sur un km de voirie. Dans CopCETE, une adaptation de la méthodologie COPERT a été adoptée afin d'estimer les évaporations journalières et moteur chaud (les évaporations en circulation ne posent pas de problème d'ordre méthodologique). Cette méthode fait appel à des données statistiques proposées par COPERT qui sont : la longueur de trajet moyen (12 km pour la France d'après COPERT), le nombre de trajets moyens sur la période considérée (4,8 trajets par jour pour la France d'après COPERT).

Les évaporations sont prises en compte pour tous les COV disposant de données de FE.

2. Polluants retenus pour le calcul de facteurs d'émissions

L'outil CopCETE prend en compte les polluants suivants :

Tableau XVII: Polluants pris en compte dans la version v3.5 de CopCETE

- dioxyde de carbone (CO ₂), - oxydes d'azote (NO _x), - monoxyde de carbone (CO), - dioxyde de soufre (SO ₂), - particules émises à l'échappement (PM10), - composés organiques volatils (COV) - méthane (CH ₄), - acroléine, - benzène (C ₆ H ₆), - 1,3-butadiène, - formaldéhyde, - acétaldéhyde,	- HAP, - benzo[a]pyrène (BaP), - nickel (Ni), - arsenic (As), - baryum (Ba), - cadmium (Cd), - cuivre (Cu), - chrome (Cr), - Zinc (Zn), - sélénium (Se), - protoxyde d'azote (N ₂ O), - ammoniac (NH ₃).
---	--

Pour chacun de ces polluants, le tableau XV décrit les types d'émission intégré.

Tableau XVIII: Types d'émission intégrés dans l'outil CopCETE pour chaque polluant

Polluant	Chaud	Froid	Evaporation	Hors échap.
Dioxyde de carbone CO ₂	x	x		
Oxydes d'azotes NO _x	x	x		
Monoxyde de carbone CO	x	x		
Dioxyde de soufre SO ₂	x	x		
Particules diesel et essence PM	x	x		x
Composés organiques Volatiles COV	x	x	x	
Méthane CH ₄	x	x		
Spéciation COV non méthanique				
- benzène	x	x	x	
- formaldéhyde	x	x		
- acétaldéhyde	x	x		
- acroléine	x	x		
- 1,3-butadiène	x	x		
HAP				
- total des 6 HAP les plus cancérigènes ⁽¹⁾	x			x
- benzo(a)pyrène	x			
Métaux lourds				
- Plomb Pb	x	x		
- Cadmium Cd	x	x		x
- Cuivre Cu	x	x		
- Chrome Cr				x

Polluant	Chaud	Froid	Evaporation	Hors échap.
- Nickel Ni	x	x		x
- Sélénium Se	x	x		
- Zinc Zn	x	x		
- Baryum Ba				x
- Arsenic As				x
Protoxyde d'azote N ₂ O	x	x		
Ammoniac NH ₃	x	x		

- (1) Cette sélection des HAP les plus cancérigènes a été retenue dans un souci de cohérence avec l'outil Artémis. Elle regroupe les composés suivants : indéno(1,2,3-cd)pyrène, benzo(k)fluoranthène, benzo(b)fluoranthène, benzo(a)pyrène, benzo(a)anthracène et dibenzo(ah)anthracène. A noter que la méthodologie COPERT 4 ne fournit pas de facteur d'émission pour les HAP totaux.

Concernant les émissions hors échappement :

Les facteurs d'émissions intégrés dans COPCETE sont ceux proposés dans le rapport Sélection des agents dangereux à prendre en compte dans l'évaluation des risques sanitaires liés aux infrastructures (Annexe 6).

		g/veh.km	mg/veh.km	mg/veh.km	mg/veh.km	mg/veh.km	mg/veh.km	mg/veh.km
VP	Origine d'émission	PM10	Cd	Ba	Ni	As	Cr	benzoapyrene
	pneus	7,7E-03	7,7E-05	1,9E-05	2,0E-04	6,0E-06	2,7E-05	3,0E-05
	freins	3,2E-03	5,2E-05	8,4E-03	6,7E-04	3,2E-05	2,2E-03	2,0E-06
	embrayage	2,5E-03	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
	route	3,1E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
	Total	4,4E-02	1,3E-04	8,5E-03	8,7E-04	3,8E-05	2,2E-03	3,2E-05
VUL		PM10	Cd	Ba	Ni	As	Cr	benzoapyrene
	pneus	1,2E-02	1,2E-04	3,0E-05	3,1E-04	1,0E-05	4,3E-05	4,7E-05
	freins	4,5E-03	7,3E-05	1,2E-02	9,5E-04	4,5E-05	3,1E-03	3,0E-06
	embrayage	2,5E-03	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
	route	3,1E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
	Total	5,0E-02	1,9E-04	1,2E-02	1,3E-03	5,5E-05	3,1E-03	5,0E-05
PL		PM10	Cd	Ba	Ni	As	Cr	benzoapyrene
	pneus	8,3E-02	5,4E-04	2,1E-04	2,1E-03	6,7E-05	3,0E-04	3,3E-04
	freins	1,2E-02	2,0E-04	3,3E-02	2,6E-03	1,2E-04	8,4E-03	9,0E-06
	embrayage	2,5E-03	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
	route	4,8E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
	Total	5,7E-01	7,4E-04	3,3E-02	4,7E-03	1,9E-04	8,7E-03	3,3E-04

Ces facteurs d'émission diffèrent de ceux proposés dans le guidebook EMEP/EEA (« Methodology for the calculation of non-exhaust PM emissions – SNAP 070700-070800, NFR 1A3bv-vii », version Guidebook 2009, Juin 2009

En première approche, le groupe de travail a sélectionné les polluants devant être considérés dans une démarche de hiérarchisation des polluants et pour les 2 types d'exposition.

Tableau XIX :Polluants de la version v3.5 de CopCETE et retenus dans ce cadre

Exposition aiguë	Exposition chronique
<ul style="list-style-type: none"> - particules émises à l'échappement (PM10), - monoxyde de carbone (CO), - oxydes d'azote (NO_x), - dioxyde de soufre (SO₂), - benzène (C₆H₆), - formaldéhyde, - nickel (Ni), - arsenic (As), - cuivre (Cu), - ammoniac (NH₃). 	<ul style="list-style-type: none"> - particules émises à l'échappement (PM10), - oxydes d'azote (NO_x), - dioxyde de soufre (SO₂), - benzène (C₆H₆), - formaldéhyde, - 1,3-butadiène, - acéaldéhyde, - acroléine, - benzo[a]pyrène (BaP), - nickel (Ni), - arsenic (As), - cuivre (Cu) - cadmium (Cd), - plomb (Pb), - chrome (Cr), - baryum (Ba), - ammoniac (NH₃). - zinc (Zn) - sélénium (Se)

2.1 Cas des métaux lourds

La mise à jour 9.0 de COPERT IV apporte des modifications notables sur les facteurs d'émissions de certains métaux (tableau VI) par rapport à la version actuelle du logiciel CopCETE. Ces nouveaux facteurs d'émission tiennent désormais compte de la teneur en métaux lourds des carburants, mais également de l'apport par l'huile de lubrification et par l'usure de pièces internes du moteur.

Cette mise à jour se traduit par des réductions significatives pour Cr, Cu, Ni et Se (qui peuvent atteindre 99%), par une augmentation considérable des émissions de Zn, et par la prise en compte de polluants nouvelles, Hg et As, dans la part échappement (on doit cependant les calculer à partir d'un tableur, car le logiciel n'est pas opérationnel).

La mise en œuvre du calcul pour ces polluants est simple puisqu'elle se déduit directement de la consommation de carburant (distinction essence diesel) par un facteur de proportion exprimé en ppb. Les calculs ont été réalisés sous un tableur à partir de la consommation en carburant calculée dans CopCETE pour chacun des scénarios (la version de CopCETE intégrant les nouveautés de la version V9 est actuellement en version test)

Tableau XX : Comparaison des FE des métaux des versions 8.0 et 9.0 de COPERT IV (en ppb, contenu carburant)

Métal	Essence		Diesel		GPL	
	v9	< v9	v9	< v9	v9	< v9
Cd	10,8	10	8,7	10	10,6	
Hg	8,7	-	5,3	-	0	
Pb	33,2	0	52,1	0	31,6	
As	0,3	-	0,1	-	0	
Cr	15,9	50	30	50	9,3	
Cu	41,8	1700	21,2	1700	37,3	
Ni	13	70	8,8	70	10,7	
Se	0,2	10	0,1	10	0	
Zn	2164	1000	1738	1000	2130	

En rouge : les FE en augmentation dans la version 9.0

2.2 Spéciation des COV

Le groupe de travail a identifié 67 polluants de la famille des Composés Organiques Volatils, dioxines et furannes à prendre en compte. A partir des spéciations des COV non méthaniques de la méthode COPERT IV, il est possible de calculer les FE de 36 de ces polluants ou familles de polluants. Ces spéciations sont documentées pour les véhicules pré-Euro 1 et post-Euro 1, et pour 4 classes de véhicules (VL essence, diesel et GPL, véhicules lourds diesel).

Les HAP, dioxines et furanes sont calculés dans COPERT à partir d'un FE par grande catégorie de véhicule (VL, PL). Le facteur d'émission proposé pour la famille HAP est un FE agrégé intégrant directement une part de surémission à froid. Pour les VL, une distinction est faite sur le carburant utilisé :

- Pour les VL essence, deux FE sont fournis, un pour les véhicules pré-EURO et un pour les véhicules à partir de la norme EURO 1
- Pour les VL diesel, deux FE sont fournis, un pour les véhicules à injection indirecte et un pour les véhicules à injection directe.

Pour la catégorie « diesel passagers cars and light duty vehicles », les spéciations différencient le type d'injection (direct (DI) ou indirect (IDI)). Ce dernier point pose problème, en effet, l'information sur la distinction du type d'injection des VL diesel n'est pas disponible dans le parc. Même si a priori, les VL diesel à injection directe tendent à se généraliser, nous n'avons pas connaissance d'une source fiable sur la composition du parc actuel en France sur ce sujet. Dans un document publié en 2002, « Parc, Usages, Emissions des véhicules routiers » (Joumard, Lacour, Inrets/LTE, 2002), il est fait état d'un remplacement progressif des diesel injection indirecte par les diesels injection directe avec un taux de diesel injection indirecte de 47% en 1999.

La méthode COPERT propose en l'absence de donnée précise de retenir la moyenne des facteurs d'émission injection directe et injection indirecte et de les appliquer à tous les VL diesel sans distinction de norme.

Cette hypothèse a été retenue pour le calcul des émissions des HAP.

Tableau XXI : Polluants recensés dans la spéciation Copert et retenus dans ce cadre

- hexane	- propène	- indéno(1,2,3-cd)pyrène
- toluène	- pyrène	- famille TCDD
- famille des cycloalcanes	- benzo(ghi)pérylène	- famille PeCDD
- éthylbenzène	- benzo(a) pyrène	- famille HxCDD
- m+p-xylènes	- chrysène	- famille HpCDD
- o-xylène	- benzo(a)anthracène	- famille OCDD
- styrène	- benzo(b)fluoranthène	- famille TeCDF
- naphthalène	- benzo(k)fluoranthène	- famille PeCDF
- acénaphthylène	- benzo(j)fluoranthène	- famille HxCDF
- anthracène	- dibenzo(al)pyrène	- famille OCDF
- acénaphène	- acétone	- benzaldéhyde
- fluorène	- phénanthrène	- propionaldéhyde

Ces polluants n'étant pas intégrés dans CopCete, elles seront calculées séparément (tableur spécifique) pour chaque scénario et horizon, à partir des véhicules.km par catégorie ou à partir des émissions de COVNM déjà calculées dans CopCETE par catégorie de véhicules dans le cas de la spéciation, et selon les grandes lignes suivantes :

- On considérera les répartitions VP/VUL/PL des différents scénarii, pour pondérer les spéciations correspondantes.
- Cependant les composés suivants : hexane, acétone, méthyléthylcétone, éthylbenzène, dibenzo(a,j)anthracène, dibenzo(a,l)pyrène, acénaphthylène, acénaphène, n'ont pas de FE pour les PL. La répartition du trafic a donc été ajustée (par exemple, la répartition 80%VP, 17%VUL, 3%PL devient 80%VP et 20%VUL).
- Afin de gérer les spéciations différentes des véhicules à injection directe (DI) et injection

indirecte (IDI) et en l'absence d'hypothèse, on considère arbitrairement la moyenne des FE correspondants pour estimer les émissions des véhicules diesel « légers ».

- On notera que, - hormis pour les alcanes, cycloalcanes, alcènes, aldéhydes, cétones et aromatiques -, les seuls FE disponibles pour les VP et VUL sont ceux à chaud et à froid. Par souci d'homogénéité, les calculs sont donc été effectués pour tous les composés (COV, HAP, POP, dioxines et furannes), en ne considérant que les seules émissions à chaud et à froid et n'intègrent donc pas les émissions par évaporation de carburant.
- les spéciations des dioxines et furanes ne sont disponibles que par famille : TeCDD (ou TCDD), PeCDD, HxCDD, HpCDD (dioxines) et TeCDF (ou TCDF), PeCDF, HxCDF et HpCDF (furanes), et la famille des octachlorodibenzodifurannes (OCDF, furanes) n'est pas renseignée dans la spéciation COPERT IV, hormis pour les PL. Les FE prennent en compte la toxicité des différentes dioxines et des furannes selon les données du NATO Committee in the Challenges of the Modern Society (NATO-CCMS).

Tableau XXII : Spéciation COPERT4 des COV pour les alcanes, cycloalcanes, alcènes et alcynes

Group	Species	NMVOC Fraction (% wt.)					
		Gasoline 4 stroke		Diesel PC & LDV		HDV	LPG
		Convent.	Euro I & on	IDI & DI			
ALKANES	ethane	1.65	3.19	0.33	0.03	2.34	
	propane	0.47	0.65	0.11	0.10	49.85	
	butane	2.90	5.24	0.11	0.15	15.50	
	isobutane	1.29	1.59	0.07	0.14	6.95	
	pentane	1.78	2.15	0.04	0.06	0.35	
	isopentane	4.86	6.81	0.52		1.26	
	hexane	1.29	1.61				
	heptane	0.36	0.74	0.20	0.30	0.18	
	octane	0.56	0.53	0.25		0.04	
	2-methylhexane	0.80	1.48	0.45	0.63	0.25	
	nonane	0.06	0.16	0.67		0.01	
	2-methylheptane		0.57	0.12	0.21	0.09	
	3-methylhexane	0.56	1.14	0.22	0.35	0.19	
	decane	0.22	0.19	1.18	1.79		
	3-methylheptane	0.40	0.54	0.20	0.27	0.08	
	Alkanes C10-C12	0.03	1.76	2.15		0.01	
Alkanes C>13	0.06	1.45	17.91	27.50			
CYCLOALKANES	All	0.88	1.14	0.65	1.16	0.10	
ALKENES	ethylene	8.71	7.30	10.97	7.01	5.20	
	propylene	4.87	3.82	3.60	1.32	5.19	
	propadiene		0.05				
	1-butene	0.50	0.73				
	isobutene	4.21	2.22	1.11	1.70	0.63	
	2-butene	1.27	1.42	0.52		0.53	
	1,3-butadiene	1.42	0.91	0.97	3.30	0.15	
	1-pentene	0.09	0.11				
	2-pentene	0.23	0.34				
	1-hexene		0.17				
dimethylhexene		0.15					
ALKINES	1-butine	0.05	0.21				
	propine	0.76	0.08				
	acetylene	5.50	2.81	2.34	1.05	1.28	

Tableau XXIII : Spéciation COPERT IV des COV pour les aldéhydes, cétones et composés aromatiques monocycliques

Group	Species	NMVOC Fraction (% wt.)					
		Gasoline 4 stroke		Diesel PC & LDV		HDV	LPG
		Convent.	Euro I & on	IDI & DI			
ALDEHYDES	formaldehyde	2.08	1.70	12.00		8.40	1.56
	acetaldehyde	0.59	0.75	6.47		4.57	1.81
	acrolein	0.16	0.19	3.58		1.77	0.59
	benzaldehyde	0.60	0.22	0.86		1.37	0.03
	crotonaldehyde	0.02	0.04	1.10		1.48	0.36
	methacrolein		0.05	0.77		0.86	0.10
	butyraldehyde		0.05	0.85		0.88	0.11
	isobutanaldehyde			2.09		0.59	
	propionaldehyde	0.11	0.05	1.77		1.25	0.70
	hexanal			0.16		1.42	
	i-valeraldehyde			0.11		0.09	0.01
	valeraldehyde		0.01	0.41		0.40	
	o-tolualdehyde	0.19	0.07	0.24		0.80	
	m-tolualdehyde	0.38	0.13	0.34		0.59	
p-tolualdehyde	0.19	0.06	0.35				
KETONES	acetone	0.21	0.61	2.94			0.78
	methylethylketone	0.11	0.05	1.20			
AROMATICS	toluene	12.84	10.98	0.69		0.01	1.22
	ethylbenzene	4.78	1.89	0.29			0.24
	m-p-xylene	6.66	5.43	0.61		0.98	0.75
	o-xylene	4.52	2.26	0.27		0.40	0.26
	1,2,3 trimethylbenzene	0.59	0.86	0.25		0.30	0.05
	1,2,4 trimethylbenzene	2.53	4.21	0.57		0.86	0.25
	1,3,5 trimethylbenzene	1.11	1.42	0.31		0.45	0.08
	styrene	0.57	1.01	0.37		0.56	0.02
	benzene	6.83	5.61	1.98		0.07	0.63
	C9	3.12	4.21	0.78		1.17	0.25
	C10		3.07				
C>13	6.01	3.46	13.37		20.37		
TOTALS (all NMVOC species)		99.98	99.65	99.42		96.71	99.98

Tableau XXIV : Facteurs d'émission COPERT IV pour les HAP et POP

Species	Bulk emission factors (µg/km)					
	Gasoline PC & LDV		Diesel PC & LDV		HDV	LPG
	Convent.	Euro I & on	DI	IDI	DI	
indeno(1,2,3-cd)pyrene	1.03	0.39	0.70	2.54	1.40	0.01
benzo(k)fluoranthene	0.30	0.26	0.19	2.87	6.09	0.01
benzo(b)fluoranthene	0.88	0.36	0.60	3.30	5.45	
benzo(ghi)perylene	2.90	0.56	0.95	6.00	0.77	0.02
fluoranthene	18.22	2.80	18.00	38.32	21.39	1.36
benzo(a)pyrene	0.48	0.32	0.63	2.85	0.90	0.01
pyrene	5.78	1.80	12.30	38.96	31.59	1.06
perylene	0.11	0.11	0.47	0.41	0.20	
anthanthrene	0.07	0.01	0.07	0.17		
benzo(b)fluorene	4.08	0.42	24.00	5.21	10.58	0.71
benzo(e)pyrene	0.12	0.27	4.75	8.65	2.04	
triphenylene	7.18	0.36	11.80	5.25	0.96	0.48
benzo(j)fluoranthene	2.85	0.06	0.32	0.16	13.07	
dibenzo(a,j)anthracene	0.28	0.05	0.11	0.12		
dibenzo(a,l)pyrene	0.23	0.01		0.12		
3,6-dimethyl-phenanthrene	4.37	0.09	4.85	1.25		0.18
benzo(a)anthracene	0.84	0.43	3.30	2.71	2.39	0.05
acenaphthylene			25.92	25.92		
acenaphthene			34.65	34.65		
fluorene					39.99	
chrysene	0.43	0.53	2.40	7.53	16.24	
phenanthrene	61.72	4.68	85.50	27.63	23.00	4.91
naphthalene	11.20	610.19	2100	650.5	56.66	40.28
anthracene	7.66	0.80	3.40	1.37	8.65	0.38
coronene	0.90	0.05	0.06	0.05	0.15	
dibenzo(ah)anthracene	0.01	0.03	0.24	0.56	0.34	

Tableau XXV : Facteurs d'émission COPERT IV pour les familles de dioxines et furanes

	Toxicity Equivalent Emission Factors [pg/km]		
	PC Gasoline Conventional	PC Diesel IDI	Heavy Duty Diesel
Polychlorinated Dibenzo Dioxins			
TeCDD.TOTAL	3.8	0.2	1.4
PeCDD.TOTAL	5.2	0.2	0.9
HxCDD.TOTAL	1.0	0.1	0.3
HpCDD.TOTAL	0.2	0.0	0.2
OCDD	0.1	0.0	0.2
Total Dioxins	10.3	0.5	3.0
Polychlorinated Dibenzo Furans			
TeCDF.TOTAL	3.6	0.1	0.6
PeCDF.TOTAL	8.2	0.5	2.8
HxCDF.TOTAL	8.1	0.4	3.9
HpCDF.TOTAL	1.3	0.0	0.5
OCDF	0.0	0.0	0.1
Total Furans	21.2	1.0	7.9

Impact des nouveaux facteurs d'émissions Copert pour les métaux

La révision **9.0 de la méthode Copert** permet de déterminer des facteurs pour l'arsenic, le mercure et le plomb, et induit pour certains métaux des différences relativement importantes par rapport à la version antérieure. Les tableaux suivants illustrent ces écarts sur la contribution à l'échappement,

pour les scénarios d'expositions aiguë et chronique. Toutefois le baryum n'est pas intégré dans ces nouvelles données.

Dans les deux cas, les émissions de Ni et Cu sont fortement affectées (facteurs 10 à 100).

Urbain majorant

Polluants	2015		2030	
	FE selon copert v8.0 FE retenu(50% froid)	FE selon copert v9.0 FE retenu(50% froid)	FE selon copert v8.0 FE retenu (50% froid)	FE selon copert v9.0 FE retenu (50% froid)
Ni	9,67E-06	7,05E-07	9,63E-06	6,76E-07
Cu	2,35E-04	1,86E-06	2,34E-04	1,73E-06
As	0	1,04E-08	0	9,13E-09

Autoroute Urbaine

Polluants	2015		2030	
	FE retenu (50% froid)	FE retenu (50% froid)	FE retenu(50% froid)	FE retenu(50% froid)
Ni	1,21E-05	8,28E-07	1,22E-05	5,00E-07
Cu	2,94E-04	2,16E-06	2,96E-04	1,27E-06
As	0	1,18E-08	0	6,57E-09

Nationale Majorante

Polluants	2015		2030	
	Fe retenu (30% froid)			
Ni	1,24E-05	1,11E-06	1,25E-05	1,09E-06
Cu	3,02E-04	2,85E-06	3,03E-04	2,74E-06
As	0	1,52E-08	0	1,40E-08

Urbain

Polluants	2015		2030	
	FE selon copert v8.0 FE retenu (50% froid)	FE selon copert v9.0 FE retenu (50% froid)	FE selon copert v8.0 FE retenu (50% froid)	FE selon copert v9.0 FE retenu (50% froid)
Cd	8,41E-07	4,11E-07	8,47E-07	4,06E-07
Ni	5,89E-06	4,34E-07	5,93E-06	4,23E-07
Cr	4,21E-06	1,23E-06	4,23E-06	1,28E-06
Cu	1,43E-04	1,14E-06	1,44E-04	1,08E-06
Ba	0	0	0	0,00E+00
As	0	6,29E-09	0	5,69E-09
Hg		2,69E-07		2,60E-07
Pb		2,18E-06		2,25E-06

Autoroute

Polluants	2015		2030	
	FE retenu (FE chaud)			
Cd	8,49E-06	7,60E-07	8,64E-06	7,64E-07
Ni	5,94E-06	7,89E-07	6,05E-06	7,86E-07
Cr	4,25E-06	2,41E-06	4,32E-06	2,51E-06
Cu	1,44E-04	2,01E-06	1,47E-04	1,96E-06
Ba	0	0	0	0
As	0	1,05E-08	0	9,85E-09
Hg		4,84E-07		4,78E-07
Pb		4,23E-06		4,39E-06

Nationale

Polluants	2015		2030	
	FE retenu (30% froid)			
Cd	6,45E-07	4,06E-07	6,58E-07	4,09E-07
Ni	4,52E-06	4,23E-07	4,60E-06	4,23E-07
Cr	3,23E-06	1,27E-06	3,29E-06	1,32E-06
Cu	1,10E-04	1,08E-06	1,12E-04	1,06E-06
Ba	0	0	0	0
As	0	5,74E-09	0	5,45E-09
Hg		2,60E-07		2,58E-07
Pb		2,24E-06		2,32E-06

Annexe 14 : Synthèse des données d'émission issues de la littérature

Afin de compléter les facteurs d'émission, notamment pour les polluants et phénomènes d'émission non couverts par la méthode COPERT IV, une analyse des articles publiés depuis 2004 et identifiés comme traitant des émissions liées au trafic routier et des émissions de particules hors échappement a été réalisée.

Cette analyse a permis de documenter d'une part l'émission directe de polluants liées à l'usure d'équipements, et d'autre part la remise en suspension de particules, mais également certains facteurs d'émission à l'échappement qui seront confrontés aux valeurs calculées. Globalement, 13 polluants non couverts par les outils de calcul ont été identifiés. Afin de les prendre en compte dans la hiérarchisation, il est nécessaire de les adapter au cas par cas aux scénarios retenus.

1. Catalyseurs

Les catalyseurs utilisés dans les systèmes de réduction des émissions sont souvent des métaux rares tels que le platine (Pt) et le palladium (Pd). Limbeck *et al.* (2007) ont estimé des facteurs d'émissions en mesurant les concentrations de Pt et Pd dans l'air ambiant en entrée et sortie du système d'aération d'un tunnel à Vienne, Autriche. Les facteurs d'émissions varient 38 à 146 ng/(véhicule-km) pour Pt et de 13 à 42 ng/(véhicule-km) pour Pd au cours de la période de mesures (avec des incertitudes de l'ordre de 10%). La variation observée résulte principalement de la variation du trafic dans le tunnel. L'émission de ces métaux du système de réduction des émissions résulte des facteurs de stress affectant ce système et dus aux rapides changements des conditions d'opération (réduction vs oxydation), aux hautes températures de fonctionnement et aux processus mécaniques d'abrasion. Les résultats de cette étude sont généralement cohérents avec d'autres études. Cependant, aucune VTR n'a été identifiée dans la base de données « Furetox » pour ces deux métaux.

2. Plaquettes de freins

Plusieurs études des émissions hors-échappement ont identifié et, dans certains cas, quantifié les émissions liées à l'abrasion des plaquettes de freins.

Bukowiecki *et al.* (2009) ont quantifié les émissions de plusieurs métaux, dont l'antimoine (Sb), émis par les plaquettes de frein. Ces mesures ont été effectuées en Suisse (à Zürich et au bord d'une autoroute interurbaine) et concernent les PM₁₀ (avec une granulométrie pour PM₁ et PM_{2.5}). Des FE ont été estimés pour les métaux suivants : Sb, Fe, Cu, Zn, Mo, Sn et Ba. Les FE pour Sb sont 11 (+- 7) µg/(véhicule-km) pour les véhicules utilitaires légers (VUL) et 86 (+- 42) µg/(véhicule-km) pour les poids lourds (PL). Une partie de ces FE comprend la remise en suspension (ci-après « resuspension ») des poussières déposées sur la route. Les FE sont plus faibles sur autoroute avec circulation fluide qu'en ville (8 à 12 fois plus faibles si l'on tient compte de la resuspension ; par exemple pour Ba, 20 µg/km sur autoroute et 150 µg/km en ville). En ville, les FE sont environ 3 à 4 fois plus faibles si l'on néglige la resuspension (par exemple pour Ba, 40 µg/km en ville sans la resuspension).

Hjortenkraus *et al.* (2007) ont estimé les émissions de plusieurs métaux pour la Suède à partir de mesures effectuées à Stockholm. Les concentrations de métaux dans les plaquettes de freins ont été mesurées et les émissions ont ensuite été calculées à partir de ces concentrations et de FE de PM. Les résultats ne sont pas présentés en termes de FE mais pour tout le parc automobile suédois. Les métaux suivants ont été mesurés dans les plaquettes de freins : Cd, Cu, Pb, Sb et Zn. Les freins sont principalement une source de Sb, Cu et Zn.

Johansson *et al.* (2009) ont calculé des FE à partir de mesures de concentrations ambiantes en effectuant des règles de trois à partir de FE et concentrations de NO_x. Ces mesures ont été effectuées à Stockholm, Suède. Quinze métaux ont été mesurés (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb,

V, Zn, Mo, W, Sn, Sb et Hg). Les FE déduits des mesures sont des FE couvrant toutes les sources liées au trafic routier (c'est-à-dire, dans cette étude, échappement et freins). Les émissions des différentes sources ont ensuite été calculées avec des FE provenant de bases de données telles que COPERT 3. Les freins ont été estimés comme étant la source de 90% des émissions de Cu. En revanche, les émissions à l'échappement ont été estimées comme contribuant pour 80% du Ni et 40% du Zn. Une comparaison entre les FE calculés et ceux estimés à partir des mesures montre un bon accord pour Cu, Ni, Pb et Zn (différence de moins d'un facteur deux). Une différence significative apparaît pour Cr (mesures ambiantes 9 fois plus grandes que la valeur fondée sur les FE de COPERT 3), ce qui pourrait suggérer une autre source que l'échappement et les freins. Un FE est donné pour le tungstène (W) : 15 µg/(véhicule-km) mais la source n'est pas identifiée. De toute façon, aucune VTR n'a été identifiée dans la base de données « Furetox » pour W.

Kummer *et al.* (2009) ont estimé les émissions de métaux lourds liées au transport routier et provenant de l'échappement (seulement pour Pb), des freins et des pneus. Pour les freins et pneus, les émissions de cinq métaux ont été estimés : As, Cd, Cr, Ni et Pb avec des FE de l'European Environmental Agency (EEA). Les FE des freins sont supérieurs à ceux des pneus pour ces cinq métaux.

Bukowiecki *et al.* (2010) ont quantifié à partir de mesures effectuées en Suisse et en utilisant des polluants « traceurs » (Sb pour les plaquettes de frein, suies pour l'échappement et Ca pour la resuspension des particules déposées sur la route) les contributions de différentes sources de particules liées au trafic routier. Ils ont ainsi montré la forte contribution (21%) des plaquettes de frein aux concentrations de PM₁₀ liées au trafic routier dans une rue-canyon.

Gietl *et al.* (2010) ont effectué des mesures dans le centre de Londres pour en déduire des FE pour les polluants liés aux plaquettes de frein. La méthode consiste à calculer dans un premier temps la différence des concentrations de ces polluants dans les PM₁₀ entre le bord de route et le niveau de fond, et dans un deuxième temps de calculer la contribution de ces polluants aux PM₁₀ en utilisant des mesures de concentrations de NO_x et le FE des NO_x (1,05 g/(véhicule-km)), afin d'en déduire le FE des PM₁₀ pour le trafic (82,3 mg/(véhicule-km)). Comparant le FE des PM₁₀ provenant des plaquettes de frein (EEA) au FE total (c'est-à-dire couvrant les émissions des freins et de la resuspension), il en est déduit que les freins contribuent pour 13% des PM₁₀ du trafic. L'hypothèse est ensuite faite que les métaux identifiés proviennent principalement des freins. Quatre polluants ont été identifiés au-dessus des niveaux de fond urbain : Ba, Fe, Cu et Sb. En particulier, Ba constitue 1,1% des particules PM₁₀ issues des plaquettes de frein.

Thorpe et Harrison (2008) ont rédigé une revue des sources et propriétés des particules émises hors-échappement par le trafic routier. Ils considèrent donc les émissions liées aux plaquettes de frein, aux pneus et à la resuspension des poussières déposées sur la route. Cette étude ne fournit pas de FE. Pour les plaquettes de frein, ils ont identifié 21 métaux présents dans les plaquettes ou dans les poussières provenant de l'usure des plaquettes (avec un bon accord dans l'ensemble entre ces deux sources). Ils identifient Ba, Cu et Sb comme étant des polluants avec de fortes émissions des freins ; Cu et Sb peuvent être utilisés comme des traceurs spécifiques à cette source.

3. Pneus

Blok (2005) a étudié les concentrations de zinc (Zn) en bordure de route. Cette étude concerne les Pays-Bas et est fondée sur une revue de la littérature pour les FE et les concentrations de Zn dans les sols en bordure de route. Un FE correspondant à l'ensemble des sources dues au trafic routier a été estimé : 7,7 (4,2 à 24) kg/(km de route). La plupart de ces émissions reste à proximité de la route. Il a été estimé que 2/3 des émissions part dans les eaux de ruissellement et 1/3 peut être dispersé dans l'atmosphère. Les dépôts en bordure d'autoroute sont de l'ordre de 38 mg/(m²-an). Les émissions de Zn sont identifiées (d'après une revue de la littérature) comme provenant principalement de l'usure des pneus et de la corrosion des barrières de sécurité. Les émissions liées aux barrières de sécurité (dues à l'érosion) termineraient dans les eaux de ruissellement et

entreraient dans le sol par infiltration (les barrières de sécurité étant placées sur le sol) et ne contribueraient pas aux émissions atmosphériques.

Hjortenkraus *et al.* (2007) ont estimé les émissions de plusieurs métaux pour la Suède à partir de mesures effectuées à Stockholm (voir ci-dessus). Les concentrations de métaux dans les pneus ont été mesurées et les émissions ont ensuite été calculées à partir de ces concentrations et de FE pour les PM. Les résultats ne sont pas présentés en termes de FE mais pour tout le parc automobile suédois. Les métaux suivants ont été mesurés dans les pneus : Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb et Zn. Les pneus sont principalement une source de Zn et Cd.

Le rapport de ChemRisk, Inc. et DIK Inc. (ChemRisk, 2008) fournit une synthèse des informations techniques disponibles avant 2008 sur la composition chimique des pneus, la toxicité (cancérogénicité, mutagénicité, toxicité reproductrice et toxicité aquatique) des polluants connues présentes dans les pneus et un aperçu de la contribution des particules provenant de l'usure des pneus (« tire wear particles ») aux concentrations atmosphériques. Parmi les polluants connues présentes dans les pneus, on note le noir de carbone, l'oxyde de zinc (ZnO), des antioxydants organiques, des agents de vulcanisation organiques, des huiles, le resorcinol et le formaldéhyde. Une synthèse de quatorze études antérieures suggère des contributions des particules provenant de l'usure des pneus de l'ordre de 0,1 à 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aux concentrations de PM₁₀ ou PM plus fines (PM₇, PM_{4,7}, PM_{3,3}). Cependant, aucun FE n'est fourni dans ce rapport.

Kummer *et al.* (2009) ont estimé les émissions de métaux lourds liées au transport routier pour cinq métaux (As, Cd, Cr, Ni et Pb) avec des FE de l'EEA : Les FE d'émissions des pneus sont inférieurs à ceux des freins pour ces cinq métaux.

Kreider *et al.* (2010) ont caractérisé les propriétés physico-chimiques des particules résultant de l'abrasion des pneus et des surfaces de routes. Ils ont identifiés seize hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), tous listés avec une VTR, et plusieurs métaux (19 mesurés au-dessus des limites de détection). Trois métaux (Zn, Si et S) sont explicitement identifiés comme étant utilisés dans la manufacture des pneus. Aucun facteur d'émission n'est fourni par cette étude.

Kupiainen et Pirjola (2011) ont étudié l'influence des pneus cloutés et des sables utilisés sur les routes enneigées sur les concentrations de particules atmosphériques. Les expériences ont été effectuées sur un circuit fermé. Leurs travaux ne fournissent pas d'information sur les espèces chimiques.

Aatmeeyata et Sharma (2010) ont étudié les émissions de HAP des pneus. Les émissions des HAP des pneus proviennent de deux processus : d'une part la volatilisation de ces espèces due à l'augmentation de la température du pneu et d'autre part la génération mécanique de débris de pneus par usure des pneus sur la route. Quatre HAP ont été détectés au-dessus de leurs limites de détection (phénanthrène, fluoranthène, pyrène et benzo(ghi)pérylène). Quatre autres n'ont pas été détectés (anthracène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène et benzo(a)pyrène). Parmi ces HAP, le pyrène était celui présent en plus grandes concentrations. Les FE des quatre HAP détectés sont donnés en ng/(pneu-km) pour un type de pneu utilisé sur les deux-roues, les trois-roues et les petits véhicules particuliers (VP) en Inde. Ces FE varient entre environ 20 ng/(pneu-km) pour le phénanthrène et environ 200 ng/(pneu-km) pour le pyrène.

La revue de Thorpe et Harrison (2008) sur les sources et propriétés des particules émises hors-échappement par le trafic routier ne fournit pas de FE mais donne quelques indications sur les polluants émises par ces sources. Pour les pneus, ils ont identifiés 18 métaux mesurés dans les débris de pneus de VP (13% des pneus sont des polluants minérales). Les pneus sont une forte source de Zn, mais d'autres sources de Zn existent (plaquettes de frein, barrières de sécurité).

4. Échappement

Riddle *et al.* (2007) ont mesuré sur banc d'essai (cycle intitulé « Federal Test Procedure ») les émissions de VUL (véhicules utilitaires légers, i.e. de moins de 3,5 tonnes) essence et de PL (poids lourds, i.e. camions, autobus, autocars) diesel. Des FE ont été obtenus pour 13 HAP spécifiques et cinq groupes d'isomères d'HAP identifiés seulement par leur masse molaire. Par

exemple, les émissions de benzo(a)pyrène (un des HAP ayant les FE les plus élevés) varient d'environ 20 µg HAP/g PM pour un PL diesel à 600 µg HAP/g PM pour un VUL avec un catalyseur à trois voies. Par exemple, le FE du dibenz(a,h)anthracène est 8 de et de 20 µg HAP/g PM pour les véhicules à essence à basses émissions et à catalyseur à trois voies, respectivement.

Bergvall et Westerholm (2009) ont effectué des mesures à l'échappement des émissions de quinze HAP avec deux véhicules à essence et deux véhicules diesel. Trois cycles de conduite ont été utilisés (programme Artemis) : urbain, route et autoroute. Les FE sont présentés en ng/(véhicule-km). Les émissions de PM sont aussi présentées, ce qui permet de calculer les émissions en termes de µg HAP/g PM. Par exemple, le FE du dibenz(a,h)anthracène pour les deux véhicules à essence est de 0,7 et de 1,5 µg HAP/g PM pour le cycle urbain, 8,6 et 18,4 µg HAP/g PM en cycle « route » et de 2,1 et de 4,1 µg HAP/g PM en cycle « autoroute ». Les mesures correspondant au cycle « route » sont comparables à celles obtenues par Riddle *et al.* (2007) ; celles des autres cycles (urbain et autoroute) sont plus faibles.

Landis *et al.* (2007) ont effectué des mesures en tunnels à Baltimore, Maryland, Etats-Unis, pour caractériser les émissions d'HAP et de métaux du trafic routier. Le trafic diffère selon les tunnels avec l'un ayant un trafic principalement de VP essence et l'autre un trafic de PL diesel. Les émissions de mercure (Hg) ont été plus particulièrement étudiées avec une spéciation chimique des émissions (Hg gazeux élémentaire et oxydé et Hg particulaire) et des mesures de la teneur des carburants en Hg. Les résultats pour les métaux (hors Hg) n'ont pas permis d'en déduire des profils de sources pour le trafic. En revanche, les mesures d'HAP ont permis d'identifier des HAP qui semblent uniques à la combustion diesel (fluoranthène, pyrène et chrysène). Ces HAP n'apparaissent pas pour les émissions de véhicules essence dans cette étude. Il convient de noter que Riddle *et al.* (2007) avaient mesuré des émissions du même ordre de grandeur entre VUL essence et PL diesel pour le fluoranthène et le pyrène (le chrysène n'avait pas été mesuré) ; la différence entre les deux études pourrait provenir du fait que l'étude de Riddle *et al.* concerne des mesures sur banc d'essai alors que celle de Landis *et al.* concerne des mesures de trafic. Les deux études s'accordent pour conclure que les véhicules essence mènent à des émissions d'HAP lourds, c'est-à-dire avec au moins cinq noyaux aromatiques (par exemple, le benzo(a)pyrène). Plusieurs HAP mesurés n'ont pas été détectés (par exemple le dibenz(a,h)anthracène et le benzo(ghi)pérylène). Les concentrations de Hg étaient négligeables par rapport au niveau de fond dans le tunnel « diesel », mais significativement supérieures au niveau de fond dans le tunnel « essence ». L'analyse des carburants confirme cette conclusion : la teneur en Hg du diesel varie sur 3 échantillons de 35 à 88 ng/litre (0,04 à 0,10 ppb), celle de l'essence varie sur 21 échantillons de 110 à 462 ng/litre (0,15 à 0,62 ppb).

Caplain *et al.* (2006) ont effectué une campagne de mesures sur banc d'essai pour les émissions de composés organiques volatils (COV) de l'échappement de VP essence et diesel. Des FE (mg/(véhicule-km)) ont été mesurés pour une centaine de COV, y compris certains pour lesquels une VTR a été identifiée : par exemple, benzène, toluène, formaldéhyde et acétaldéhyde.

Legreid *et al.* (2007) ont estimé les émissions de plusieurs COV à l'échappement à partir de concentrations mesurées dans un tunnel en Suisse pendant une période de deux semaines. Plusieurs COV avec des VTR ont ainsi été caractérisés : quatre aldéhydes, un éther, une cétone un diène et quatre composés aromatiques (ou isomères). Les FE sont donnés en (mg/(véhicule-km)). Les FE estimés par Legreid *et al.* (2007) à partir de mesures en milieu ambiant peuvent être comparés à ceux obtenus sur banc d'essai par Caplain *et al.* (2008). Dans l'ensemble les FE de Legreid *et al.* sont soit comparables à ceux de Caplain *et al.* (acétaldéhyde), soit légèrement inférieurs (acroléine, benzaldéhyde, propanal, acétone). Pour les composés aromatiques, Legreid *et al.* obtiennent un FE quatre fois plus élevé pour le benzène et un FE 300 à 1000 fois plus faible pour les xylènes. Cette différence importante pourrait être due à l'évolution des normes, à la composition du parc roulant dans le tunnel (essence et diesel) ainsi qu'aux incertitudes liées aux méthodes expérimentales.

Kleeman *et al.* (2008) ont effectué des mesures sur banc d'essai pour caractériser les émissions de PL diesel et VUL essence. La spéciation chimique des mesures de particules inclut hopane,

stérane et des HAP. Cette étude est surtout orientée vers la granulométrie des émissions particulaires et ne fournit pas de FE pour des polluants chimiques spécifiques.

Matti Maricq (2007) a rédigé une revue des méthodes pour la caractérisation chimique des émissions de particules des moteurs diesel. Ce travail cible principalement les méthodes d'analyse et ne fournit pas d'information sur les FE des moteurs diesel.

Baum *et al.* (2007) ont mesuré les émissions d'acide cyanhydrique (HCN) de véhicules sur banc d'essai à l'arrêt. Les FE sont donc donnés en $\mu\text{g}/\text{min}$. Les FE varient entre 1 et 100 $\mu\text{g}/\text{min}$ avec des valeurs moyennes de l'ordre de 20 $\mu\text{g}/\text{min}$ (à chaud) à 40 $\mu\text{g}/\text{min}$ (à froid).

On doit enfin mentionner les travaux récents de synthèse bibliographique des contenus en métaux lourds à l'échappement et la révision qui affecte en conséquence les facteurs d'émission actuels dans les outils COPERT4 (Gkatzoflias *et al.* 2011). Les auteurs passent en revue les différents travaux s'intéressant aux émissions en métaux lourds (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn) des véhicules Diesel et essence, puis proposent des facteurs d'émission exprimés en « contenu carburant équivalent ou apparent », sachant que les émissions ne sont pas uniquement imputables au contenu en métaux des carburants, mais que ces émissions incluent également le contenu en métaux des lubrifiants et l'usure des pièces du moteur. Les valeurs retenues dans la nouvelle approche s'appuient principalement sur les travaux à base d'inventaire développés par Wither et Slentø, 2010. Elles incluent Hg et As (non couverts antérieurement) et conduisent à des facteurs d'émission assez fortement différents des versions antérieures : très fortes réductions (jusqu'à 99%) des facteurs d'émissions de Cr, Cu, Ni et Se, mais augmentation des FE de Zn dans un facteur 2 (cf. Tableau III, Annexe 12). Les valeurs peuvent être directement utilisées à partir des consommations de carburants. Il convient cependant de noter que les teneurs de Hg dans l'essence et le diesel sont significativement plus élevées que celles mesurées par Landis *et al.* (2007).

5. Poussières déposées sur ou à proximité de la route

Legret et Pagotto (2006) ont mesuré les concentrations de plusieurs métaux en bordure de route. Zn, Pb et Cu ont été mesurés à plus forte concentration près de la route qu'en niveau de fond. En général, les concentrations les plus élevées dans le sol sont principalement dans une bande de 5 m à proximité de la route et les concentrations de fond sont atteintes à seulement 25 m de la route.

6. Remise en suspension par le trafic, de particules déposées sur la chaussée

Bukowiecki *et al.* (2010) ont effectué des mesures à deux endroits en Suisse, dans une rue-canyon et près d'une autoroute, pour quantifier à l'aide de polluants « traceurs » les contributions de sources liées au trafic aux émissions de particules (PM_{10}). Les sources principales de particules étaient l'échappement (41%), la resuspension des particules déposées sur la route (38%) et les plaquettes de frein (21%) dans la rue-canyon, et la resuspension (56%), l'échappement (41%) et les freins (3%) en bord d'autoroute. Des FE sont donnés pour les PM_{10} , mais pas pour des polluants chimiques spécifiques.

Thorpe et Harrison (2008) ont identifié quelques polluants (Si, Fe, Ca, Na, Hg, Al et Sr) comme étant spécifiques à la resuspension des poussières présentes sur la route. Cependant, ils ne fournissent pas de FE.

Thorpe *et al.* (2007) ont estimé des FE pour diverses sources hors-échappement de particules liées au trafic routier. Cette étude cible les particules grossières (c'est-à-dire PM_{10} – $\text{PM}_{2.5}$). Les concentrations de particules grossières ont été mesurées en bord de route et en zone urbaine de fond pour obtenir la concentration due au trafic routier (ces mesures ont été effectuées dans le centre de Londres). Ensuite, une règle de trois avec les mesures de NO_x et le FE des NO_x permet d'estimer un FE pour les particules grossières. Les émissions dues aux plaquettes de frein et aux pneus sont calculées à partir de FE standard et déduite du FE total pour obtenir le FE correspondant à la resuspension des poussières présentes sur la route et à l'usure de la route. Les

FE pour la resuspension de poussières présentes sur la route sont entre 146 et 176 mg/(véhicule-km) pour les PL et entre 1,4 et 2,8 mg/(véhicule-km) pour les VUL. Les FE pour la somme de la resuspension et de l'usure de la route sont entre 156 et 200 mg/(véhicule-km) pour les PL et entre 2,9 et 8,6 mg/(véhicule-km) pour les VUL ; la moyenne pour le parc roulant est entre 17 et 21 mg/(véhicule-km). Pour comparaison, les FE standard pour les autres sources sont environ 10 mg/(véhicule-km) pour les plaquettes de frein et 3,2 mg/(véhicule-km) pour les pneus.

Pay *et al.* (2011) ont implémenté la resuspension des particules déposées sur la route dans un modèle de qualité de l'air. Les FE utilisés sont 217 mg/(véhicule-km) pour les PL et 88 mg/(véhicule-km) pour les VUL. Si le FE pour les PL est cohérent avec les résultats de Thorpe *et al.* (2007), celui pour les VUL est nettement supérieur (d'un ordre de grandeur au moins) à celui de Thorpe *et al.* Il convient de noter que la resuspension des particules déposées sur la route dépend de nombreux facteurs (parc roulant, vitesse du trafic, intensité du trafic, périodes de pluie...) et que les FE peuvent donc varier considérablement selon les conditions.

Amato *et al.* (2011) ont inventorié la densité surfacique des poussières PM₁₀ sur les voies (routes/rues) dans trois villes européennes : Barcelone, Gérone et Zürich. Ces densités sont plus élevées dans les villes catalanes (1,3 à 7,1 mg/m² à Gérone et 3,7 à 23,1 mg/m² à Barcelone) qu'à Zürich (0,2 à 1,3 mg/m²). Cinq sources principales de ces poussières sont identifiées : poussières urbaines (provenant par exemple des activités de construction), usure de la route, émissions de particules de l'échappement, usure des freins et usure des pneus. L'usure de la route et les poussières de fond urbaines dominant (60%) les poussières des voies dans les villes catalanes. En revanche, la provenance des poussières des voies à Zürich est distribuée de manière plus équilibrée entre ces différentes sources. Amato *et al.* ont caractérisé la composition chimique de ces poussières avec plus d'une quarantaine de métaux et autres espèces chimiques identifiées.

Tableau XXVI : FE des métaux de poussières remises en suspension (mg/(véhicule-km)).

Substance	Fraction des PM10 déposés sur la voie	FE des scénarios urbains	FE des scénarios routiers et autoroutiers
As	$1,90 \times 10^{-5}$	$1,75 \times 10^{-3}$	$1,92 \times 10^{-3}$
Ba	$1,51 \times 10^{-3}$	$1,39 \times 10^{-1}$	$1,52 \times 10^{-1}$
Cd	$1,00 \times 10^{-5}$	$9,19 \times 10^{-4}$	$1,01 \times 10^{-3}$
Cr	$3,30 \times 10^{-4}$	$3,03 \times 10^{-2}$	$3,33 \times 10^{-2}$
Cu	$3,55 \times 10^{-3}$	$3,26 \times 10^{-1}$	$3,58 \times 10^{-1}$
Fe	$4,60 \times 10^{-2}$	4,23	4,64
Mo	$1,99 \times 10^{-4}$	$1,83 \times 10^{-2}$	$2,01 \times 10^{-2}$
Ni	$5,04 \times 10^{-4}$	$4,63 \times 10^{-2}$	$5,09 \times 10^{-2}$
Pb	$2,47 \times 10^{-4}$	$2,27 \times 10^{-2}$	$2,49 \times 10^{-2}$
Sb	$3,24 \times 10^{-4}$	$2,98 \times 10^{-2}$	$3,27 \times 10^{-2}$
W	$1,20 \times 10^{-5}$	$1,10 \times 10^{-3}$	$1,21 \times 10^{-3}$
Zr	$8,06 \times 10^{-4}$	$7,40 \times 10^{-2}$	$8,13 \times 10^{-2}$

6. Utilisation de fondants routiers

La resuspension par le trafic de sels de fondants routiers qui contiennent des substances identifiées avec des VTR doit être pris en compte pour les infrastructures routières susceptibles de faire l'objet d'opération de salage lors d'épisodes de neige ou de verglas. La quantité totale de fondants routiers utilisée en France varie entre 200 000 et 2 000 000 tonnes par an avec une valeur moyenne de 750 000 tonnes/an (Sétra, 2011). Le réseau routier national représente environ 1 000 000 km (Sétra, 2011) ; par conséquent, on estime une utilisation moyennée de fondants routiers à 0,75 tonne/(km-an).

La teneur des fondants routiers en substances métalliques est réglementée (Afnor, 2011). Les teneurs maximales autorisées (en mg/litre de fondant) sont données dans le tableau ci-dessous. La masse volumique d'une saumure de fondant routier est d'environ 1,2 g/cm³ (MEDDTL, 2012).

La fraction des particules présentes sur une voie qui est projetée lors du passage des véhicules a été estimée pour différents sites. Legret (2001) a estimé des fractions allant de 0,33 à 0,70 pour une autoroute (A11) et une route nationale (N12). Blok (2005) a estimé que seulement un tiers (0,33) des particules présentes sur la route étaient remise en suspension dans l'air. Une fraction de 0,5 est utilisée dans nos calculs en accord avec les résultats présentés par Legret (2001).

Afin de calculer un facteur d'émission (FE) en g/(véhicule-km), il est nécessaire d'estimer le nombre de véhicules qui remettent en suspension ces particules de fondant. L'hypothèse faite pour les scénarios est de 50 000 véhicules/jour. Si les fondants routiers peuvent être utilisés plusieurs jours par an sur une même route, ils ne sont pas utilisés uniformément sur le réseau routier national. On fait donc l'hypothèse majorante de 50 000 véhicules, ce qui permet de compenser l'hypothèse minorante d'une répartition uniforme sur le réseau national. Les FE ainsi calculés sont présentés dans le tableau y.

Tableau XXVII : FE des métaux de fondants routiers en g/(véhicule-km).

Substance	Teneur maximale mg/L (Afnor, 2011)	FE g/(km-an)	FE g/(véhicule-km)
Al	5,0	1,56	3,13 x 10 ⁻⁵
As	0,25	0,08	1,56 x 10 ⁻⁶
Cd	0,2	0,06	1,25 x 10 ⁻⁶
Cr	0,5	0,16	3,13 x 10 ⁻⁶
Cu	0,5	0,16	3,13 x 10 ⁻⁶
Hg	0,05	0,02	3,13 x 10 ⁻⁷
Ni	0,5	0,16	3,13 x 10 ⁻⁶
Pb	0,5	0,16	3,13 x 10 ⁻⁶
Zn	2,0	0,63	1,25 x 10 ⁻⁵

Annexe 15 : Confrontation des facteurs d'émission calculés et tirés de la littérature

1. Validation des calculs par l'utilisation directe de COPERT IV

Un calcul direct s'appuyant sur l'outil COPERT IV V9.0, des facteurs d'émission nationaux du parc français 2015 et 2030 (sans considérer les scénarios détaillés) a été effectué afin de comparer les ordres de grandeur et ainsi de valider la mise en œuvre des équations dans CopCETE. Le tableau suivant récapitule les écarts observés.

	Unité	Calculs COPERT4 V9.0		Calculs par CopCETE		Remarques
		2015	2030	Exposition aigüe	Exposition chronique	
CO	g/km	0,55	0,25	0,5 à 1,8	NA	
NOx	g/km	0,68	0,23	0,5 à 2,6	0,2 à 1,0	
NH3	échappement g/km	0,0083	0,0037	1,3 à 7 E-03	1,3 à 12 E-03	
PM	échappement g/km	0,025	0,0028	0,004 à 0,050	0,002 à 0,030	
COV échappement	g/km	0,068	0,027			
Cadmium	échappement g/km	7,17E-07	7,25E-07		4 à 7,7 E-07	
Cadmium	freins + pneus g/km	1,08E-07	1,11E-07		1,6 E-07 à 2 E-06	Il semble y avoir une erreur de saisie ici, cas exposition chronique, autoroute
Chrome	échappement g/km	1,01E-05	1,04E-05		1,2 à 2,5 E-06	Facteur 10
Chrome	freins + pneus g/km	8,21E-06	8,42E-06		2,5 à 3 E-06	
Cuivre	échappement g/km	1,81E-04	1,85E-04	1,3 à 2,9 E-06	1,1 à 2,0 E-06	Facteur 100
Cuivre	freins + pneus g/km	1,79E-04	1,84E-04	NA	NA	
Nickel	échappement g/km	1,96E-06	2,00E-06	0,5 à 1,1 E-06	0,4 à 0,8 E-06	
Nickel	freins + pneus g/km	1,33E-06	1,36E-06	1 à 1,3 E-06	1 à 1,3 E-06	
Plomb	échappement g/km	3,32E-03	3,51E-03		2,2 à 4,4 E-06	Le calcul du Pb échappement dans COPERT4 semble en contradiction avec la documentation des FE
Plomb	freins + pneus g/km	2,23E-05	2,29E-05		NA	
Selenium	échappement g/km	2,03E-07	2,10E-07			
Selenium	freins + pneus g/km	1,95E-07	2,02E-07			
Zinc	échappement g/km	1,99E-04	2,02E-04			
Zinc	freins + pneus g/km	7,69E-05	7,96E-05			
benzo_a_pyrene	échappement g/km	1,46E-06	1,55E-06	NA	1,4 à 1,5 E-06	
benzo_b_fluorant hene	g/km	1,82E-06	1,95E-06	7 à 7,2 E-07	7 à 7,2 E-07	Les différences d'ordre de grandeur doivent pouvoir être levées
benzo_k_fluorant hene	g/km	1,50E-06	1,62E-06	3,7 à 3,8 E-07	3,7 à 3,8 E-07	
indeno_1_2_3_cd _pyrene	g/km	1,40E-06	1,48E-06	6,6 à 6,9 E-07	6,6 à 6,9 E-07	
dioxines	g/km	2,27E-12	1,64E-12	1,7 à 2,6 E-12	1,5 à 2,6 E-12	
furanes	g/km	4,73E-12	3,44E-12	3,5 à 5,3 E-12	3,1 à 5,3 E-12	

De ce tableau, il ressort que les facteurs d'émission des polluants gazeux (CO, NO_x, NH₃) et PM sont cohérents. Par contre des écarts sont observés pour l'estimation de certains métaux, et pourraient être dûs soit à une erreur interne de COPERT4 (Pb) ou à sa mise en oeuvre. COPERT IV, Les écarts observés au niveau des HAP s'expliquent dans l'approximation de cet exercice de validation.

2. Confrontation des facteurs d'émission calculés et de ceux tirés de la littérature

Le tableau suivant compare - lorsque cela est possible - les facteurs d'émissions de la littérature, avec ceux établis par calcul en utilisant l'approche CopCETE appliquée aux scénarios retenus, ou en utilisant les résultats plus globaux de COPERT IV.

De manière générale, on obtient pour plusieurs polluants des ordres de grandeur comparables avec un facteur qui est souvent inférieur à 2. Les spéciations des COV sont assez fidèles, puisque les valeurs de la littérature sont généralement comprises entre les valeurs calculées des différents scénarios.

On notera cependant les quelques incohérences déjà soulignées entre les calculs CopCETE et COPERT IV pour certains métaux. On notera également les écarts avec la littérature pour Ba, Pb et Cr.

Enfin, pour 6 des 7 HAP pour lesquels une comparaison est possible, les écarts sont conséquents, sachant que les valeurs résultant des calculs devraient être rapprochés des valeurs observées pour les véhicules diesel compte tenu de la forte diésélisation du parc français.

Substance	Emission	FE	Unité	Véhicule	Référence	CopCete	Copert4
Métaux							
Cu	freins	108	ug/(véhicule/km)	Parc roulant moyen, PM10	Bukowiecki et al. (2009)		180
	échappement		ug/(véhicule/km)			1 à 3	180
	freins + échappement	542	ug/(véhicule/km)	Parc roulant moyen, PM10	Johansson et al. (2009)		360
Zn	freins	24	ug/(véhicule/km)	Parc roulant moyen, PM10	Bukowiecki et al. (2009)		80
	échappement		ug/(véhicule/km)				200
	freins + échappement	261	ug/(véhicule/km)	Parc roulant moyen, PM10	Johansson et al. (2009)		280
Ba	freins	39	ug/(véhicule/km)	Parc roulant moyen, PM10	Bukowiecki et al. (2009)	1 à 10	
Pb	freins	5	ug/(véhicule/km)	Parc roulant moyen, PM10	Bukowiecki et al. (2009)		22
	échappement		ug/(véhicule/km)				3300
	freins + échappement	41	ug/(véhicule/km)	Parc roulant moyen, PM10	Johansson et al. (2009)	2 à 4,4	3322
Cr	non échappement		ug/(veh/km)			2,5 à 3,0	8,2
	échappement		ug/veh/km			1,2 à 2,5	10
	freins + échappement	41	ug/(véhicule/km)	Parc roulant moyen, PM10	Johansson et al. (2009)		18,2
Ni	non échappement		ug/(véhicule/km)			1 à 1,3	1,3
	échappement		ug/(véhicule/km)			0,4 à 1,1	2,0
	freins + échappement	6,5	ug/(véhicule/km)	Parc roulant moyen, PM10	Johansson et al. (2009)		3,3
COV							
Acétaldéhyde	échappement	2,4	mg/(véhicule-km)	Parc roulant moyen	Legreid et al. (2007)	0,5 à 2,6	
Acroléine	échappement	0,42	mg/(véhicule-km)	Parc roulant moyen	Legreid et al. (2007)	0,3 à 1,3	
Benzaldéhyde	échappement	0,64	mg/(véhicule-km)	Parc roulant moyen	Legreid et al. (2007)	0,2 à 1,3	
Formaldéhyde	échappement	2,4	mg/(véhicule-km)	Essence	Caplain et al. (2006)	1 à 11	
	échappement	7,8	mg/(véhicule-km)	Diesel	Caplain et al. (2006)		
Propionaldéhyde	échappement	0,16	mg/(véhicule-km)	Parc roulant moyen	Legreid et al. (2007)	0,2 à 1,4	
Acétone	échappement	0,78	mg/(véhicule-km)	Parc roulant moyen	Legreid et al. (2007)	0,3 à 2,7	
m- & p-Xylènes	échappement	2,91	mg/(véhicule-km)	Parc roulant moyen	Legreid et al. (2007)	1 à 10	
o-Xylène	échappement	1,2	mg/(véhicule-km)	Parc roulant moyen	Legreid et al. (2007)	0,6 à 5	
Benzène	échappement	2,13	mg/(véhicule-km)	Parc roulant moyen	Legreid et al. (2007)	0,3 à 8	
Toluène	échappement	4,99	mg/(véhicule-km)	Parc roulant moyen	Legreid et al. (2007)	0,5 à 20	
1,3-Butadiène	échappement	0,57	mg/(véhicule-km)	Parc roulant moyen	Legreid et al. (2007)	0,1 à 1	
HAP							
Benzo(b)fluoranthène	échappement	698 & 374	ng/(véhicule-km)	Essence autoroute	Bervall & Westerholm (2009)	700 à 720	1800 à 2000
	échappement	99 & 156	ng/(véhicule-km)	Diesel autoroute	Bervall & Westerholm (2009)		
Benzo(k)fluoranthène	échappement	217 & 134	ng/(véhicule-km)	Essence autoroute	Bervall & Westerholm (2009)	370 à 380	1500 à 1600
	échappement	32 & 47	ng/(véhicule-km)	Diesel autoroute	Bervall & Westerholm (2009)		
Benzo(e)pyrène	échappement	664 & 244	ng/(véhicule-km)	Essence autoroute	Bervall & Westerholm (2009)	3800 à 4200	
	échappement	56 & 128	ng/(véhicule-km)	Diesel autoroute	Bervall & Westerholm (2009)		
Benzo(a)pyrène	échappement	708 & 180	ng/(véhicule-km)	Essence autoroute	Bervall & Westerholm (2009)	NA	1500 à 1600
	échappement	17 & 48	ng/(véhicule-km)	Diesel autoroute	Bervall & Westerholm (2009)		
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	échappement	358 & 680	ng/(véhicule-km)	Essence autoroute	Bervall & Westerholm (2009)	660 à 690	1400 à 1500
	échappement	12 & 19	ng/(véhicule-km)	Diesel autoroute	Bervall & Westerholm (2009)		
Dibenzo(a,l)pyrène	échappement	4,0 & 8,1	ng/(véhicule-km)	Essence autoroute	Bervall & Westerholm (2009)	1 à 3,6	
	échappement	1,6 & 2,4	ng/(véhicule-km)	Diesel autoroute	Bervall & Westerholm (2009)		
Benzo(g,h,i)pyrène	échappement	838 & 1347	ng/(véhicule-km)	Essence autoroute	Bervall & Westerholm (2009)	88 à 91 E+03	
	échappement	21 & 55	ng/(véhicule-km)	Diesel autoroute	Bervall & Westerholm (2009)		

Annexe 16 : Synthèse des facteurs d'émission utilisés pour la hiérarchisation des polluants

Exposition aiguë : Facteurs d'émissions agrégés en g/(véhicule-km)

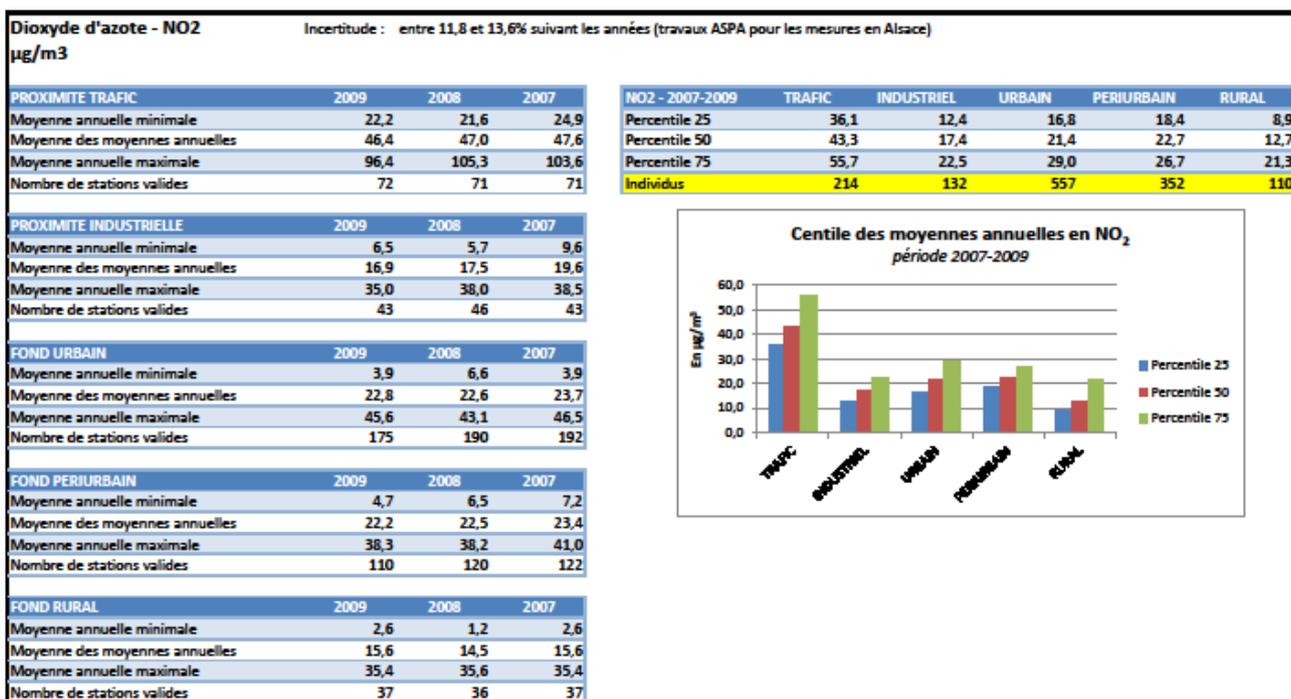
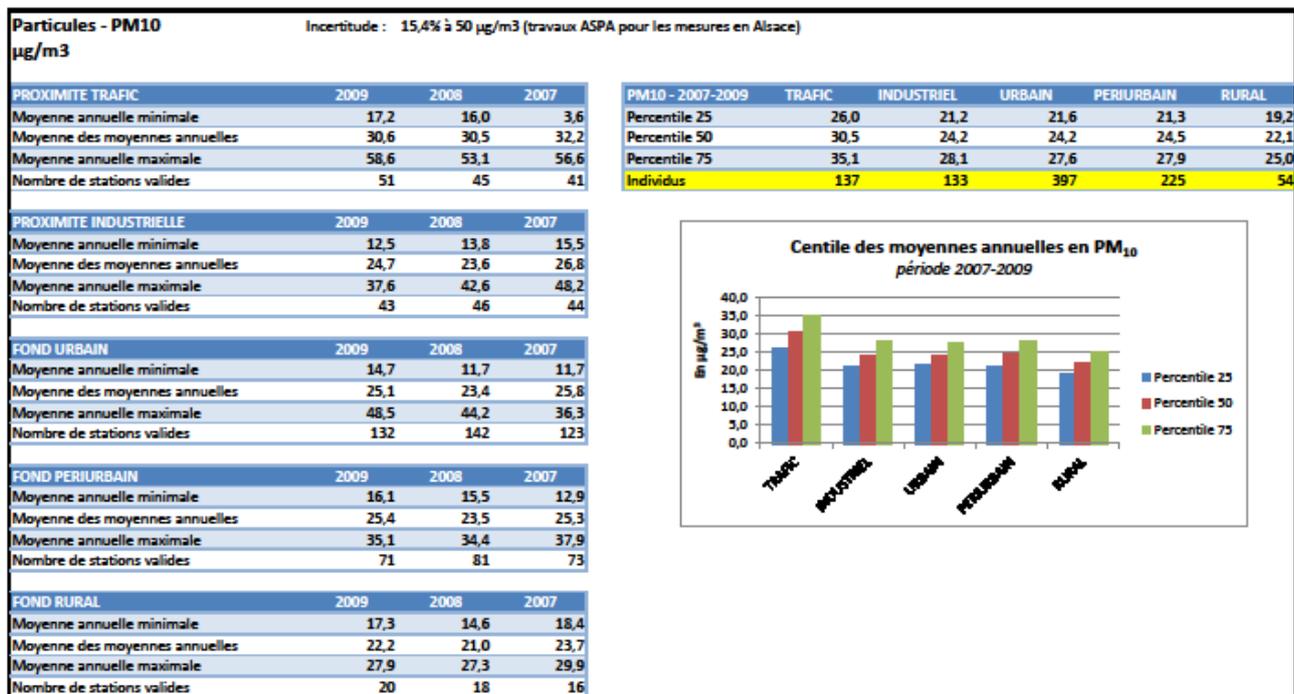
	Polluant	FE (g/km)					
		Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Autoroute 2030	Nationale 2015	Nationale 2030
CopCETE	PM	9,6E-02	6,5E-02	1,5E-01	1,0E-01	1,5E-01	1,0E-01
	CO	1,5E+00	5,6E-01	1,8E+00	8,2E-01	1,6E+00	8,2E-01
	NO _x	1,4E+00	5,6E-01	2,5E+00	1,0E+00	2,6E+00	1,1E+00
	SO ₂	2,8E-03	2,8E-03	3,5E-03	3,5E-03	3,5E-03	3,6E-03
	benzène	7,8E-03	1,2E-03	7,7E-03	1,1E-03	6,7E-03	1,1E-03
	formaldéhyde	9,2E-03	4,8E-03	1,2E-02	5,0E-03	1,1E-02	5,0E-03
	acroléine	1,3E-03	9,7E-04	4,2E-04	2,9E-04	6,2E-04	3,3E-04
	Ni	1,8E-06	1,7E-06	2,1E-06	1,8E-06	2,4E-06	2,4E-06
	Cu	1,9E-06	1,7E-06	2,2E-06	1,3E-06	2,9E-06	2,7E-06
	As	5,6E-08	5,5E-08	6,7E-08	6,2E-08	7,0E-08	6,9E-08
	NH3	6,8E-03	1,3E-03	6,9E-03	1,4E-03	6,2E-03	1,4E-03
Tableur avec prise en compte des spéciations COPERT IV	acetone	2,7E-03	1,6E-03	2,4E-03	1,4E-03	2,0E-03	1,2E-03
	toluene	2,0E-02	3,3E-03	2,0E-02	3,3E-03	1,4E-02	1,9E-03
	ethylbenzene	5,1E-03	8,0E-04	5,1E-03	7,8E-04	3,8E-03	4,2E-04
	m,p-xylene	1,0E-02	2,0E-03	1,0E-02	2,0E-03	7,8E-03	1,2E-03
	o-xylene	5,3E-03	8,4E-04	5,4E-03	8,5E-04	4,0E-03	4,9E-04
	styrene	1,7E-03	4,4E-04	1,8E-03	4,6E-04	1,3E-03	3,3E-04
Littérature	2-butanone	1,8E-03	1,8E-03	1,8E-03	1,8E-03	1,8E-03	1,8E-03

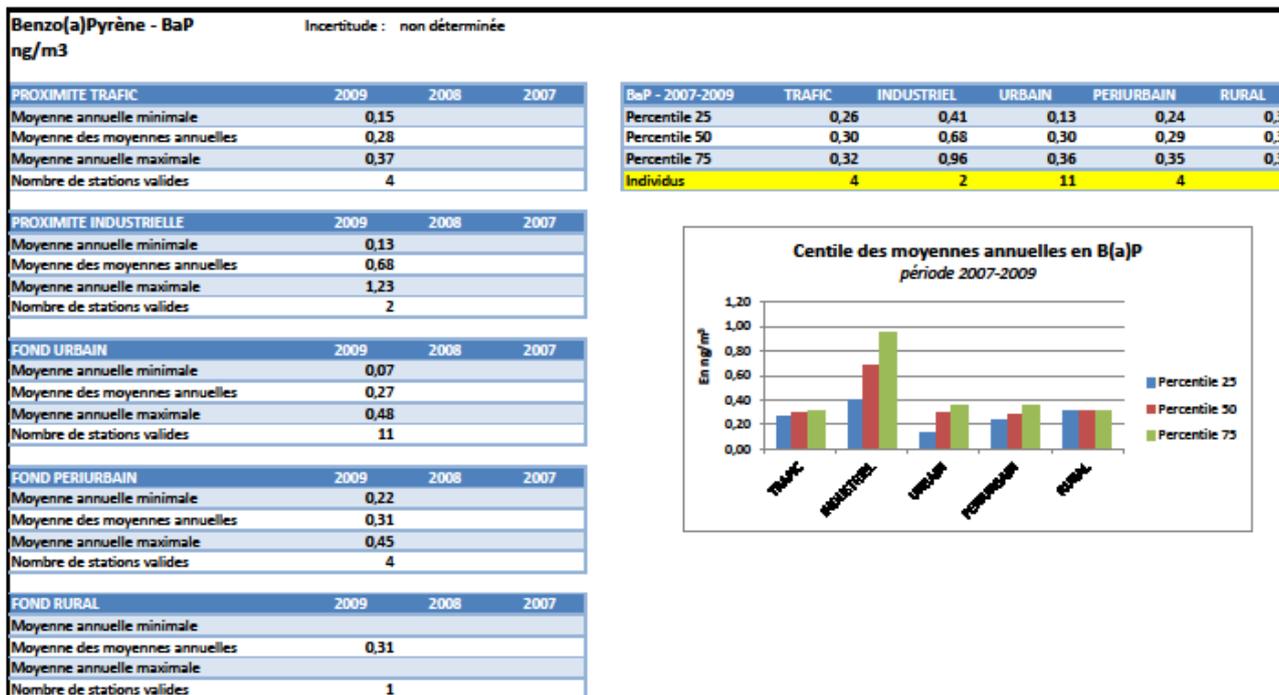
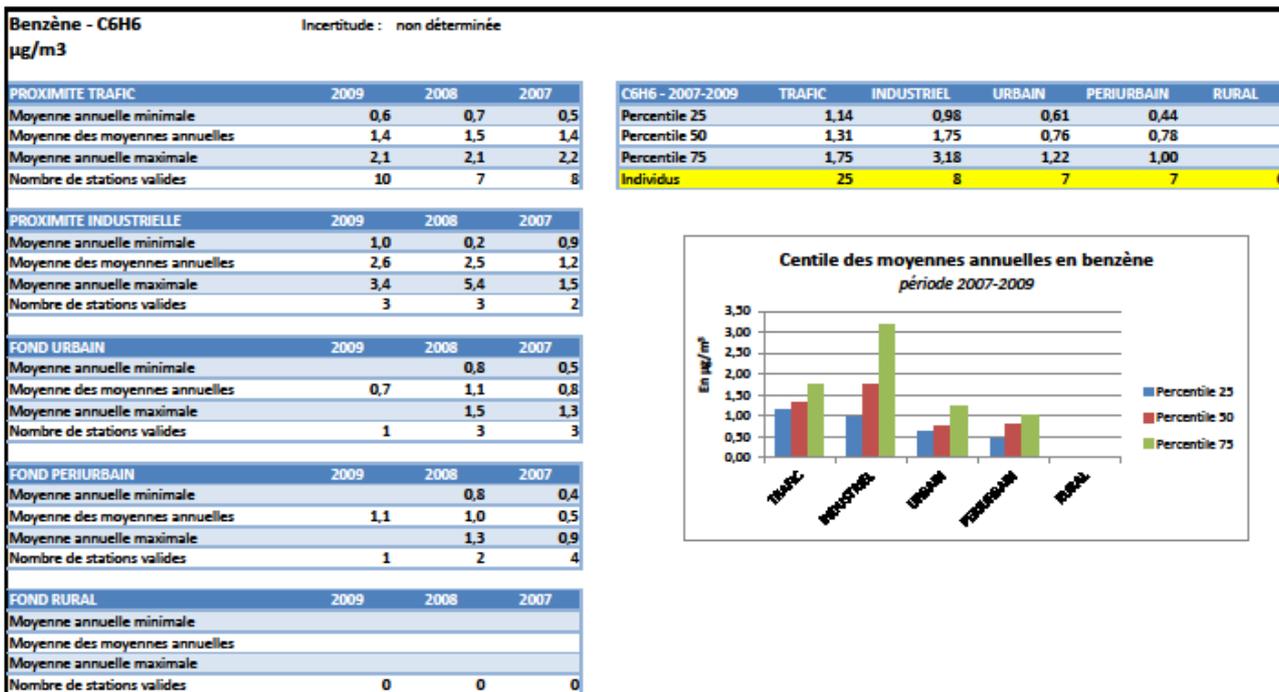
Exposition chronique : Facteurs d'émissions agrégés en g/(véhicule-km)

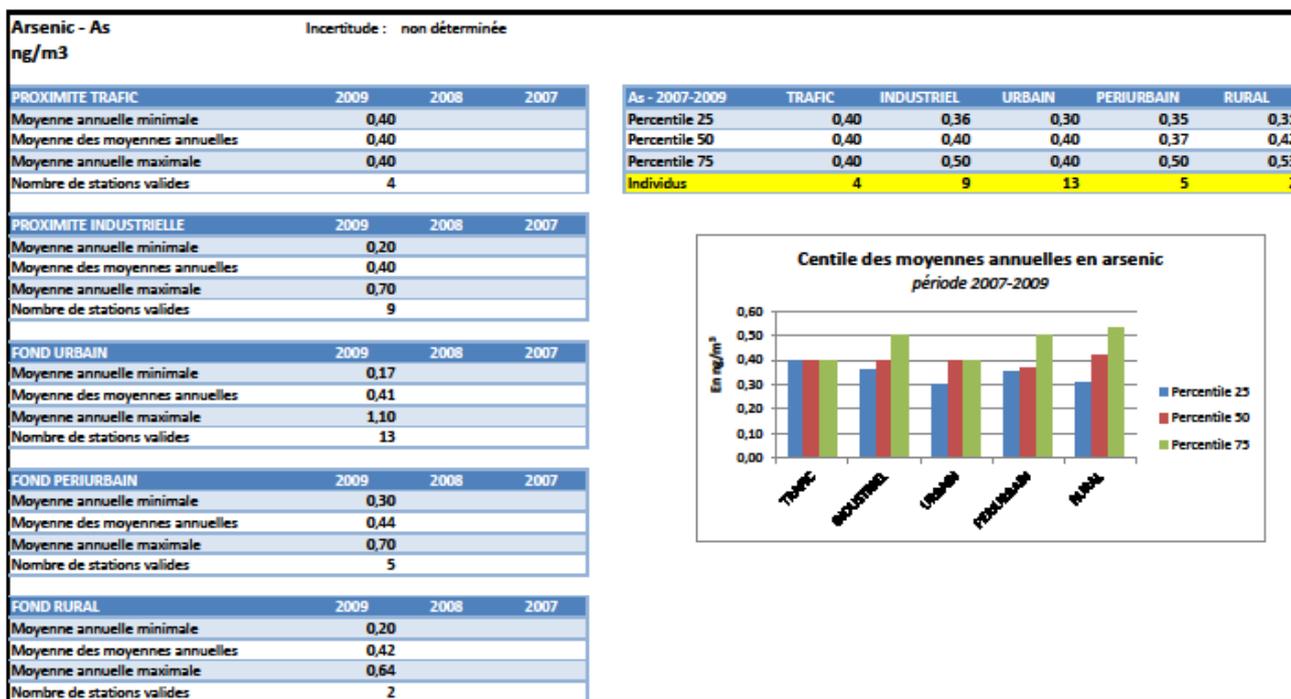
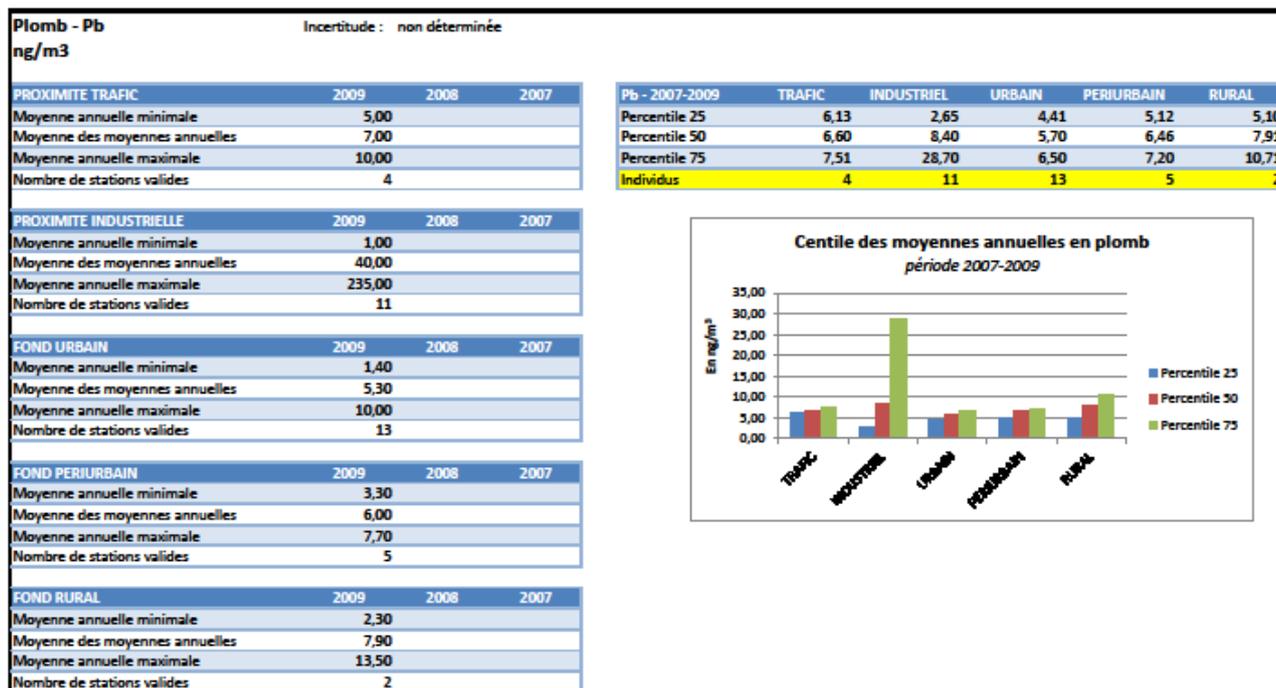
		FE (g/km)					
Polluant		Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Autoroute 2030	Nationale 2015	Nationale 2030
CopCETE	particules	8,6E-02	6,4E-02	1,3E-01	1,0E-01	1,2E-01	1,0E-01
	oxydes d'azote	8,8E-01	3,2E-01	1,0E+00	3,3E-01	6,6E-01	1,6E-01
	dioxyde de soufre	1,7E-03	1,7E-03	1,7E-03	1,7E-03	1,3E-03	1,3E-03
	1,3 butadiène	1,0E-03	3,6E-04	3,4E-04	1,3E-04	6,3E-04	2,1E-04
	benzène	3,4E-03	8,5E-04	8,4E-04	2,7E-04	1,7E-03	5,5E-04
	benzo(a)pyrène	1,5E-06	1,6E-06	1,5E-06	1,6E-06	1,5E-06	1,6E-06
	formaldéhyde	4,9E-03	3,3E-03	1,6E-03	1,0E-03	2,2E-03	1,2E-03
	acétaldéhyde	2,6E-03	1,8E-03	8,5E-04	5,5E-04	1,2E-03	6,3E-04
	acroléine	1,3E-03	9,7E-04	4,2E-04	2,9E-04	6,2E-04	3,3E-04
	cadmium	5,7E-07	5,6E-07	9,6E-07	9,6E-07	6,0E-07	6,1E-07
	nickel	1,5E-06	1,5E-06	2,1E-06	2,1E-06	1,7E-06	1,7E-06
	chrome	3,8E-06	3,8E-06	5,4E-06	5,5E-06	4,2E-06	4,3E-06
	cuivre	1,1E-06	1,1E-06	2,0E-06	2,0E-06	1,1E-06	1,1E-06
	baryum	9,8E-06	1,0E-06	1,1E-05	1,1E-05	1,1E-05	1,1E-05
	arsenic	5,2E-08	5,1E-08	6,5E-08	6,5E-08	6,1E-08	6,0E-08
	ammoniac	6,8E-03	1,3E-03	1,2E-02	8,1E-03	9,0E-03	4,2E-03
	mercure	2,7E-07	2,6E-07	4,8E-07	4,8E-07	2,6E-07	2,6E-07
	plomb	2,2E-06	2,2E-06	4,2E-06	4,4E-06	2,2E-06	2,3E-06
	sélénium	5,4E-09	5,1E-09	9,5E-09	9,2E-09	5,1E-09	5,0E-09
	zinc	8,2E-05	8,1E-05	1,5E-04	1,5E-04	8,1E-05	8,2E-05
Tableur avec prise en compte des spéciations COPERT IV	hexane	1,6E-03	3,7E-04	6,7E-04	1,1E-04	7,8E-04	2,4E-04
	cycloalkanes	1,2E-03	4,2E-04	2,2E-04	8,7E-05	6,0E-04	2,3E-04
	propylene	4,8E-03	1,9E-03	9,1E-04	3,7E-04	2,2E-03	8,6E-04
	benzaldehyde	6,6E-04	3,4E-04	1,7E-04	8,6E-05	2,8E-04	1,3E-04
	propionaldehyde	8,0E-04	6,1E-04	2,2E-04	1,5E-04	2,9E-04	1,8E-04
	acetone	1,6E-03	1,1E-03	3,2E-04	2,3E-04	5,7E-04	3,4E-04
	toluene	1,0E-02	2,3E-03	2,3E-03	4,4E-04	5,0E-03	1,6E-03
	ethylbenzene	3,0E-03	6,0E-04	1,2E-03	2,0E-04	1,2E-03	3,3E-04
	m,p-xylene	6,0E-03	1,4E-03	2,2E-03	3,9E-04	2,8E-03	8,8E-04
	o-xylene	2,9E-03	6,0E-04	9,9E-04	1,7E-04	1,3E-03	3,7E-04
	styrene	8,7E-04	3,0E-04	1,5E-04	5,6E-05	4,7E-04	1,8E-04
	indeno(1,2,3-cd)pyrene	1,4E-06	1,4E-06	1,4E-06	1,5E-06	1,4E-06	1,4E-06
	benzo(k)fluoranthene	1,4E-06	1,5E-06	1,8E-06	1,8E-06	1,8E-06	1,8E-06
	benzo(b)fluoranthene	1,7E-06	1,8E-06	2,0E-06	2,1E-06	2,0E-06	2,1E-06
	benzo(ghi)perylene	2,8E-06	3,0E-06	2,7E-06	2,9E-06	2,7E-06	2,8E-06
	fluoranthene	2,3E-05	2,5E-05	2,3E-05	2,5E-05	2,3E-05	2,4E-05
	pyrene	2,1E-05	2,3E-05	2,2E-05	2,4E-05	2,2E-05	2,3E-05
	benzo(j)fluoranthene	6,1E-07	6,1E-07	1,5E-06	1,5E-06	1,5E-06	1,5E-06
	dibenzo(a,l)pyrene	4,9E-08	5,2E-08	4,7E-08	4,9E-08	4,6E-08	4,8E-08
	benzo(a)anthracene	2,5E-06	2,6E-06	2,5E-06	2,7E-06	2,5E-06	2,6E-06
	acenaphthylene	2,0E-05	2,2E-05	1,9E-05	2,1E-05	1,9E-05	2,0E-05
	acenaphthene	2,7E-05	2,9E-05	2,6E-05	2,7E-05	2,5E-05	2,7E-05
	fluorene	1,2E-06	1,2E-06	4,0E-06	4,0E-06	4,0E-06	4,0E-06
	chrysene	4,4E-06	4,7E-06	5,4E-06	5,6E-06	5,3E-06	5,5E-06
	phenanthrene	4,5E-05	4,9E-05	4,5E-05	4,8E-05	4,4E-05	4,7E-05
	napthalene	1,2E-03	1,2E-03	1,1E-03	1,2E-03	1,1E-03	1,1E-03

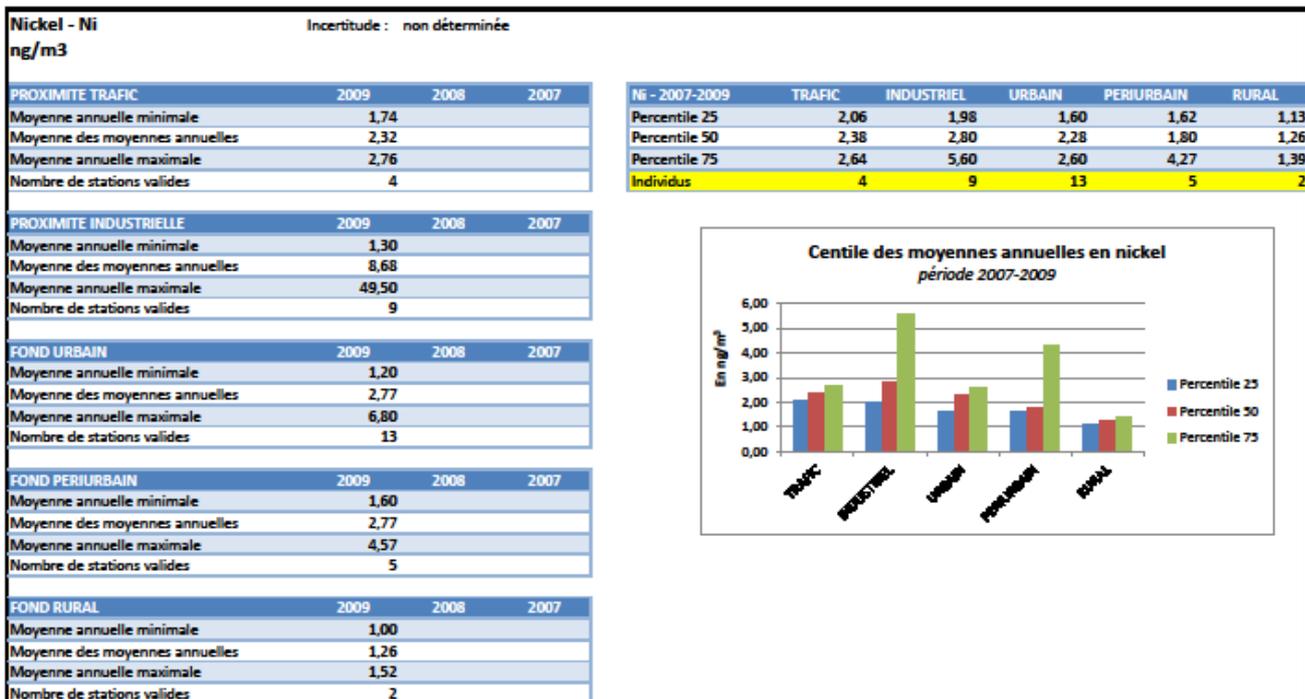
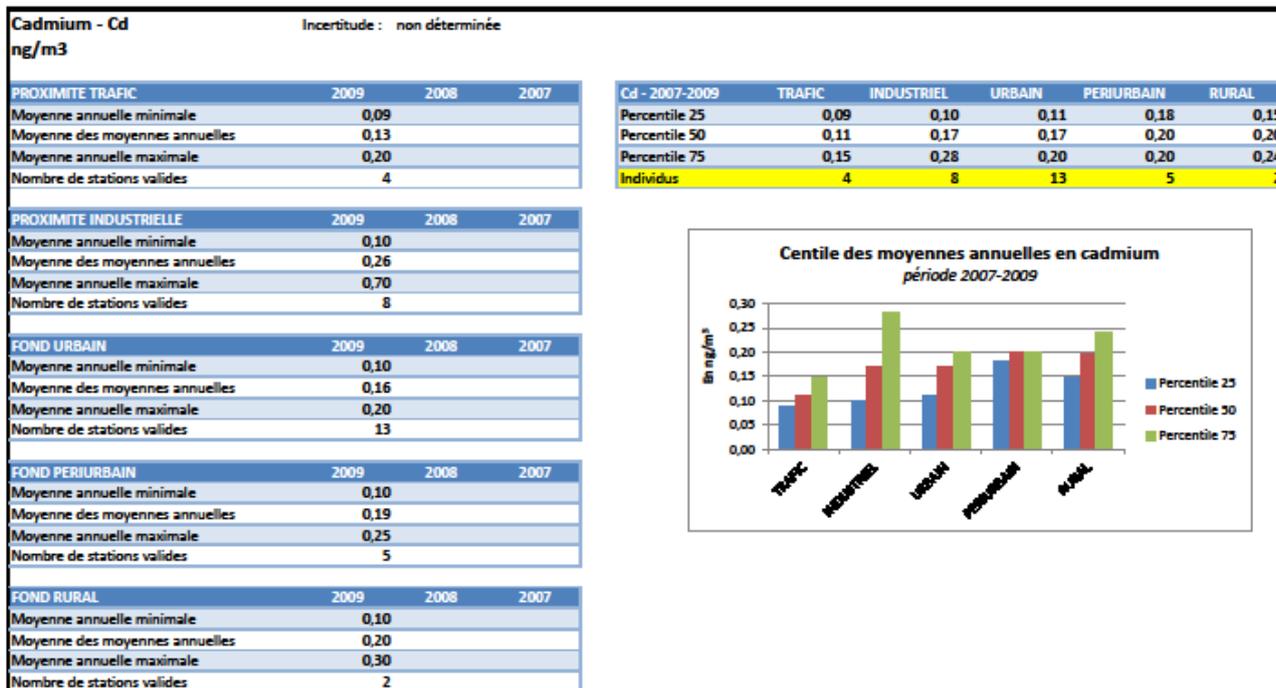
Polluant	FE (g/km)					
	Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Autoroute 2030	Nationale 2015	Nationale 2030
anthracene	2,3E-06	2,4E-06	2,8E-06	2,9E-06	2,8E-06	2,8E-06
dibenz(a,h)anthracene	3,2E-07	3,5E-07	3,3E-07	3,5E-07	3,3E-07	3,5E-07
TeCDD.Total	9,7E-13	6,9E-13	9,1E-13	6,6E-13	9,6E-13	7,3E-13
PeCDD.Total	1,2E-12	8,5E-13	1,1E-12	7,4E-13	1,2E-12	8,4E-13
HxCDD.Total	2,9E-13	2,2E-13	2,7E-13	2,1E-13	2,8E-13	2,2E-13
HpCDD.Total	4,7E-14	3,1E-14	5,3E-14	3,9E-14	5,5E-14	4,3E-14
OCDD	2,6E-14	1,9E-14	3,6E-14	2,9E-14	3,8E-14	3,1E-14
TeCDF.Total	8,2E-13	5,6E-13	7,2E-13	4,8E-13	7,7E-13	5,5E-13
PeCDF.Total	2,1E-12	1,5E-12	2,0E-12	1,5E-12	2,1E-12	1,6E-12
HxCDF.Total	2,1E-12	1,5E-12	2,0E-12	1,5E-12	2,1E-12	1,6E-12
HpCDF.Total	2,8E-13	1,8E-13	2,6E-13	1,7E-13	2,8E-13	2,0E-13
Littérature	Sb	1,8E-05	1,8E-05	1,8E-05	1,8E-05	1,8E-05
	Fe	1,9E-03	1,9E-03	1,9E-03	1,9E-03	1,9E-03
	Mo	1,3E-05	1,3E-05	1,3E-05	1,3E-05	1,3E-05
	Sn	1,6E-05	1,6E-05	1,6E-05	1,6E-05	1,6E-05
	2-butanone	1,8E-03	1,8E-03	1,1E-04	1,1E-04	1,1E-04
	MTBE	2,1E-04	2,1E-04	2,1E-04	2,1E-04	2,1E-04
	dibenz(a,h)anthracene	7,1E-09	7,1E-09	1,4E-08	1,4E-08	1,0E-08
	dibenzo(a,e)pyrene	1,0E-08	1,0E-08	2,8E-08	2,8E-08	9,4E-09
	dibenzo(a,h)pyrene	1,2E-09	1,2E-09	1,7E-09	1,7E-09	4,1E-10
	dibenzo(a,i)pyrene	2,1E-09	2,1E-09	4,2E-09	4,2E-09	1,2E-09
	HCN	9,0E-08	9,0E-08	9,7E-09	9,7E-09	2,3E-08

Annexe 17 : Données de concentrations pour l'aide au choix des polluants









Annexe 18 : Tableaux de classement de hiérarchisation

Classement pour l'exposition respiratoire chronique : pour les polluants ayant un effet avec seuil (as) et un effet sans seuil (ss), l'effet correspondant au classement est indiqué

NOM	Formule	N°CAS	CLASSEMENT						INDICE DE HIERARCHISATION						RATIO DE RISQUE	
			Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Autoroute 2030	Nationale 2015	Nationale 2030	Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Autoroute 2030	Nationale 2015	Nationale 2030	Cair/VTR	Moyenne des rangs
chrome	Cr	7440-47-3	1	1	1	1	1	1	5,7E-01	5,7E-01	5,7E-01	5,7E-01	8,0E-01	8,2E-01	1,2E+03	1
1,3-butadiène ss	C ₄ H ₆	106-99-0	2	3	3	3	3	3	1,7E-01	6,1E-02	5,8E-02	2,3E-02	1,1E-01	3,5E-02	1,0E+02	3
benzo[a]pyrène	C ₂₀ H ₁₂	50-32-8	3	2	2	2	2	2	1,2E-01	1,3E-01	1,3E-01	1,3E-01	1,2E-01	1,3E-01	9,2E+01	2
acroléine	C ₃ H ₄ O	107-02-8	4	4	4	4	4	4	6,6E-02	4,9E-02	2,1E-02	1,5E-02	3,1E-02	1,7E-02	1,0E+01	4
benzène ss	C ₆ H ₆	71-43-2	5	5	5	6	5	5	2,1E-02	5,1E-03	5,1E-03	1,6E-03	1,0E-02	3,3E-03	8,8E+00	5
éthylbenzène ss	C ₈ H ₁₀	100-41-4	6	8	6	9	7	8	7,4E-03	1,5E-03	3,0E-03	4,9E-04	3,0E-03	8,1E-04		7
acétaldéhyde ss	C ₂ H ₄ O	75-07-0	7	6	7	7	6	7	6,9E-03	4,8E-03	2,3E-03	1,5E-03	3,2E-03	1,7E-03	4,1E+00	7
indéno[1,2,3-cd]pyrène	C ₂₂ H ₁₂	193-39-5	8	7	8	5	8	6	1,6E-03	1,7E-03	1,7E-03	1,8E-03	1,7E-03	1,7E-03		7
dibenzo[a,i]pyrène	C ₂₄ H ₁₄	191-30-0	9	9	9	8	10	10	5,4E-04	5,7E-04	5,1E-04	5,4E-04	5,1E-04	5,3E-04		9
1,3-butadiène	C ₄ H ₆	106-99-0	10	18	17	19	13	19	5,1E-04	1,8E-04	1,7E-04	6,7E-05	3,1E-04	1,0E-04	3,0E-01	16
formaldéhyde	CH ₂ O	50-00-0	11	13	19	18	17	18	4,9E-04	3,3E-04	1,6E-04	1,0E-04	2,2E-04	1,2E-04	3,0E-01	16
naphtalène	C ₁₀ H ₈	91-20-3	12	11	12	11	12	12	3,9E-04	4,1E-04	3,7E-04	3,8E-04	3,7E-04	3,8E-04		12
dibenzo[a,h]anthracène	C ₂₂ H ₁₄	53-70-3	13	10	10	10	11	11	3,9E-04	4,2E-04	4,0E-04	4,2E-04	3,9E-04	4,2E-04		11
nickel ss	Ni	7440-02-0	14	12	11	12	9	9	3,9E-04	3,8E-04	3,9E-04	3,8E-04	5,4E-04	5,4E-04	6,1E-01	11
benzène	C ₆ H ₆	71-43-2	15	20	22	28	19	22	3,4E-04	8,5E-05	8,4E-05	2,7E-05	1,7E-04	5,5E-05	1,5E-01	21
acétaldéhyde	C ₂ H ₄ O	75-07-0	16	17	21	21	21	20	2,8E-04	2,0E-04	9,4E-05	6,1E-05	1,3E-04	7,1E-05	1,7E-01	19
Benzo[a]anthracène	C ₁₈ H ₁₂	56-55-3	17	14	14	13	14	13	2,7E-04	2,9E-04	2,8E-04	2,9E-04	2,7E-04	2,9E-04		14
Arsenic ss	As	7440-38-2	18	15	13	14	15	14	2,2E-04	2,2E-04	2,8E-04	2,8E-04	2,6E-04	2,6E-04	1,7E+00	15
benzo[b]fluoranthène	C ₂₀ H ₁₂	205-99-2	19	16	15	15	16	15	1,9E-04	2,0E-04	2,2E-04	2,3E-04	2,2E-04	2,3E-04		16
benzo[k]fluoranthène	C ₂₀ H ₁₂	207-08-9	20	19	16	16	18	16	1,6E-04	1,6E-04	2,0E-04	2,0E-04	1,9E-04	2,0E-04		18
propionaldéhyde	C ₃ H ₆ O	123-38-6	21	21	30	31	29	28	1,0E-04	7,6E-05	2,7E-05	1,8E-05	3,6E-05	2,2E-05		27
ammoniac	NH ₃	7664-41-7	22	30	20	30	22	29	9,7E-05	1,9E-05	9,9E-05	2,1E-05	8,9E-05	2,0E-05		26
benzo[j]fluoranthène	C ₂₀ H ₁₂	205-82-3	23	22	18	17	20	17	6,7E-05	6,7E-05	1,7E-04	1,7E-04	1,7E-04	1,7E-04		20
chrysène	C ₁₈ H ₁₂	218-01-9	24	23	23	20	23	21	4,8E-05	5,1E-05	5,9E-05	6,2E-05	5,8E-05	6,1E-05		22
1,2,3,7,8-pentachlorodibenzo-para-dioxine	C ₁₂ H ₃ Cl ₅ O ₂	40321-76-4	25	24	25	25	25	25	4,7E-05	3,2E-05	4,1E-05	2,8E-05	4,4E-05	3,2E-05		25
2,3,4,7,8-pentachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₃ Cl ₅ O	57117-31-4	26	26	26	26	27	26	4,0E-05	2,9E-05	3,8E-05	2,8E-05	4,0E-05	3,1E-05		26
2,3,7,8-TCDD ss	C ₁₂ H ₄ Cl ₄ O ₂	1746-01-6	27	28	27	29	28	27	3,7E-05	2,6E-05	3,4E-05	2,5E-05	3,6E-05	2,8E-05		28
nickel	Ni	7440-02-0	28	25	29	24	26	24	3,0E-05	2,9E-05	3,0E-05	2,9E-05	4,2E-05	4,2E-05	4,6E-02	26
plomb ss	Pb	7439-92-1	29	27	31	27	24	23	2,6E-05	2,7E-05	2,6E-05	2,7E-05	5,1E-05	5,3E-05	2,8E-02	27
dibenzo[a,i]pyrène	C ₂₄ H ₁₄	189-55-9	30	29	24	22	30	30	2,3E-05	2,3E-05	4,6E-05	4,6E-05	1,3E-05	1,3E-05		28
dibenzo[a,h]pyrène	C ₂₄ H ₁₄	189-64-0	31	31	32	32	41	39	1,2E-05	1,2E-05	1,7E-05	1,7E-05	4,1E-06	4,1E-06		34
éthylbenzène	C ₈ H ₁₀	100-41-4	32	42	39	47	40	45	1,1E-05	2,3E-06	4,6E-06	7,5E-07	4,7E-06	1,2E-06		41
dibenzo[a,e]pyrène	C ₂₄ H ₁₄	192-65-4	33	32	28	23	32	32	1,1E-05	1,1E-05	3,1E-05	3,1E-05	1,0E-05	1,0E-05		30
baryum	Ba	7440-39-3	34	46	34	34	31	31	9,8E-06	1,0E-06	1,1E-05	1,1E-05	1,1E-05	1,1E-05		35
styrène	C ₈ H ₈	100-42-5	35	40	44	48	39	44	9,5E-06	3,2E-06	1,6E-06	6,1E-07	5,1E-06	1,9E-06		42
mercure	Hg	7439-97-6	36	33	33	33	33	34	9,0E-06	8,7E-06	1,6E-05	1,6E-05	8,7E-06	8,6E-06		34
1,2,3,4,7,8-hexachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O	70648-26-9	37	34	35	35	35	35	7,8E-06	5,6E-06	7,6E-06	5,6E-06	8,0E-06	6,2E-06		35
1,2,3,6,7,8-hexachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O	57117-44-9	37	34	35	35	35	35	7,8E-06	5,6E-06	7,6E-06	5,6E-06	8,0E-06	6,2E-06		35
1,2,3,7,8,9-hexachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O	72918-21-9	37	34	35	35	35	35	7,8E-06	5,6E-06	7,6E-06	5,6E-06	8,0E-06	6,2E-06		35
2,3,4,6,7,8-hexachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O	60851-34-5	37	34	35	35	35	35	7,8E-06	5,6E-06	7,6E-06	5,6E-06	8,0E-06	6,2E-06		35
plomb	Pb	7439-92-1	41	38	41	39	34	33	4,4E-06	4,5E-06	4,4E-06	4,5E-06	8,5E-06	8,8E-06	1,4E-02	38
1,2,3,7,8-pentachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₃ Cl ₅ O	57117-41-6	42	41	42	42	43	41	4,0E-06	2,9E-06	3,8E-06	2,8E-06	4,0E-06	3,1E-06		42
arsenic	As	7440-38-2	43	39	40	40	42	40	3,5E-06	3,4E-06	4,4E-06	4,3E-06	4,0E-06	4,0E-06	2,7E-02	41
toluène	C ₇ H ₈	108-88-3	44	49	50	50	46	49	3,4E-06	7,6E-07	7,7E-07	1,5E-07	1,7E-06	5,4E-07		48
Hexane (n-hexane)	C ₆ H ₁₄	110-54-3	45	51	49	49	47	50	2,3E-06	5,3E-07	9,5E-07	1,6E-07	1,1E-06	3,5E-07		49
cadmium	Cd	7440-43-9	46	43	43	41	45	43	1,8E-06	1,8E-06	3,1E-06	3,1E-06	1,9E-06	2,0E-06	3,2E-04	44
propène	C ₃ H ₆	115-07-1	47	50	51	51	51	51	1,6E-06	6,2E-07	3,0E-07	1,2E-07	7,2E-07	2,9E-07		50
cuivre	Cu	7440-50-8	48	45	45	44	44	42	1,1E-06	1,1E-06	1,1E-06	1,1E-06	2,0E-06	2,0E-06		45
1,2,3,4,7,8-hexachlorodibenzo-para-dioxine	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O ₂	39227-28-6	49	47	47	45	49	47	1,1E-06	8,3E-07	1,0E-06	7,8E-07	1,1E-06	8,4E-07		47
1,2,3,6,7,8-hexachlorodibenzo-para-dioxine	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O ₂	57653-85-7	49	47	47	45	49	47	1,1E-06	8,3E-07	1,0E-06	7,8E-07	1,1E-06	8,4E-07		47
acide cyanhydrique	HCN	74-90-8	51	44	46	43	48	46	1,1E-06	1,1E-06	1,1E-06	1,1E-06	1,1E-06	1,1E-06		46
cyclohexane	C ₆ H ₁₂	110-82-7	52	53	52	53	52	52	1,9E-07	7,0E-08	3,7E-08	1,5E-08	9,9E-08	3,8E-08		52
molybdène	Mo	7439-98-7	53	52	55	54	53	53	1,1E-07	1,1E-07	1,2E-08	1,2E-08	2,9E-08	2,9E-08		53
acétone	C ₃ H ₆ O	67-64-1	54	54	57	57	56	56	5,2E-08	3,6E-08	1,0E-08	7,4E-09	1,8E-08	1,1E-08		56
2,3,7,8-tetrachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₄ Cl ₄ O	51207-31-9	55	55	54	55	55	55	2,1E-08	1,4E-08	1,8E-08	1,2E-08	1,9E-08	1,4E-08		55
1,2,3,4,7,8,9-heptachlorodibenzo-para-dioxine	C ₁₂ HCl ₇ O	55673-89-7	56	56	53	52	54	54	1,8E-08	1,2E-08	2,0E-08	1,5E-08	2,1E-08	1,6E-08		54
anthracène	C ₁₄ H ₁₀	120-12-7	57	57	56	56	57	57	8,8E-09	9,2E-09	1,1E-08	1,1E-08	1,1E-08	1,1E-08		57
octachlorodibenzo-para-dioxine	C ₁₂ Cl ₈ O ₂	3268-87-9	58	58	58	58	58	58	1,0E-10	7,1E-11	1,4E-10	1,1E-10	1,4E-10	1,2E-10		58

Classement pour l'exposition respiratoire aiguë

NOM	Formule	N°CAS	classement cancérogène	Classement CMR	CLASSEMENT						INDICE DE HIERARCHISATION						RATIO DE RISQUE	Moyenne des rangs
			CIRC	UE - CLP	Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Autoroute 2030	Nationale 2015	Nationale 2030	Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Autoroute 2030	Nationale 2015	Nationale 2030	Cair/VTR	
benzène	C ₆ H ₆	71-43-2	1	C 1A, M 1B	1	5	1	5	1	5	2,6E-04	4,0E-05	2,6E-04	3,8E-05	2,2E-04	3,5E-05	1,0E-03	3
acroléine	C ₃ H ₄ O	107-02-8	3	non	2	1	5	4	5	4	1,9E-04	1,4E-04	6,0E-05	4,2E-05	9,0E-05	4,9E-05		4
formaldéhyde	CH ₂ O	50-00-0	1	C2	3	3	2	2	2	2	1,8E-04	9,6E-05	2,3E-04	1,0E-04	2,2E-04	1,0E-04		2
monoxyde de carbone	CO	630-08-0	non	R1A	4	4	3	3	4	3	1,5E-04	5,6E-05	1,8E-04	8,2E-05	1,6E-04	8,2E-05	1,1E-01	4
dioxyde de soufre	SO ₂	7446-09-5	3	non	5	2	4	1	3	1	1,4E-04	1,4E-04	1,7E-04	1,7E-04	1,8E-04	1,8E-04	6,5E-01	3
ammoniac	NH ₃	7664-41-7	non	non	6	6	6	6	6	6	5,7E-06	1,1E-06	5,8E-06	1,2E-06	5,2E-06	1,2E-06		6
toluène	C ₇ H ₈	108-88-3	3	R2	7	7	7	7	7	8	4,0E-06	6,7E-07	4,0E-06	6,7E-07	2,8E-06	3,8E-07	1,9E-03	7
m-xylène	C ₈ H ₁₀	108-38-3	non	non	8	11	8	11	9	12	4,7E-07	9,0E-08	4,8E-07	9,2E-08	3,6E-07	5,3E-08	4,3E-04	10
p-xylène	C ₈ H ₁₀	106-42-3	non	non	8	11	8	11	9	12	4,7E-07	9,0E-08	4,8E-07	9,2E-08	3,6E-07	5,3E-08	4,3E-04	10
nickel	Ni	7440-02-0	2B	C2	10	8	10	9	8	7	2,9E-07	2,9E-07	3,5E-07	3,0E-07	4,0E-07	4,0E-07		9
arsenic	As	7440-38-2	1	non	11	9	11	8	11	9	2,8E-07	2,7E-07	3,3E-07	3,1E-07	3,5E-07	3,5E-07		10
o-xylène	C ₈ H ₁₀	95-47-6	non	non	12	14	12	14	12	15	2,4E-07	3,8E-08	2,5E-07	3,9E-08	1,8E-07	2,2E-08	2,0E-04	13
éthylbenzène	C ₈ H ₁₀	100-41-4	2B	non	13	15	13	15	13	17	2,3E-07	3,7E-08	2,3E-07	3,7E-08	1,8E-07	2,0E-08	1,2E-04	14
2-butanone	C ₄ H ₈ O	78-93-3	non	non	14	10	14	10	14	10	1,4E-07	1,4E-07	1,4E-07	1,4E-07	1,4E-07	1,4E-07		12
styrène	C ₈ H ₈	100-42-5	2B	non	15	13	15	13	15	11	8,1E-08	8,7E-08	8,1E-08	8,7E-08	8,3E-08	8,8E-08		14
acétone	C ₃ H ₆ O	67-64-1	non	non	16	16	16	16	16	16	4,4E-08	2,5E-08	4,4E-08	2,5E-08	3,7E-08	2,2E-08		16
cuivre	Cu	7440-50-8	non	non	17	17	17	17	17	14	1,9E-08	1,7E-08	2,2E-08	1,3E-08	2,9E-08	2,7E-08		17

Classement pour l'exposition orale chronique pour les polluants ayant un effet avec seuil (as) et un effet sans seuil (ss), l'effet correspondant au classement est indiqué

Noms	Formule	CAS	CLASSEMENT						INDICE DE HIERARCHISATION						RATIO DE RISQUE	
			Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Autoroute 2030	Nationale 2015	Nationale 2030	Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Autoroute 2030	Nationale 2015	Nationale 2030	Cplante/VTR	Moyenne des rangs
benzo[a]pyrène	C ₂₀ H ₁₂	50-32-8	1	1	1	1	1	1	1,7E+04	1,8E+04	1,7E+04	1,8E+04	1,7E+04	1,8E+04		1
benzo[a]anthracène	C ₁₈ H ₁₂	56-55-3	2	2	2	2	2	2	2,8E+03	3,0E+03	2,9E+03	3,1E+03	2,9E+03	3,0E+03		2
benzo[k]fluoranthène	C ₂₀ H ₁₂	207-08-9	3	3	3	3	3	3	1,8E+03	1,9E+03	2,3E+03	2,4E+03	2,3E+03	2,4E+03		3
benzo[b]fluoranthène	C ₂₀ H ₁₂	205-99-2	4	4	4	4	4	4	1,1E+03	1,1E+03	1,2E+03	1,3E+03	1,2E+03	1,3E+03		4
chrysène	C ₁₈ H ₁₂	218-01-9	5	5	5	5	5	5	4,6E+02	4,9E+02	5,6E+02	5,9E+02	5,5E+02	5,8E+02		5
Indéno[1,2,3-cd]pyrène	C ₂₂ H ₁₂	193-39-5	6	6	6	6	6	6	4,6E+02	4,8E+02	4,7E+02	4,9E+02	4,6E+02	4,8E+02		6
dibenzo[a,h]anthracène	C ₂₂ H ₁₄	53-70-3	7	7	7	7	7	7	1,8E+02	1,9E+02	1,9E+02	2,0E+02	1,8E+02	1,9E+02		7
fluoranthène ss	C ₁₆ H ₁₀	206-44-0	8	8	8	8	8	8	1,0E+02	1,1E+02	1,0E+02	1,1E+02	1,0E+02	1,1E+02		8
1,2,3,7,8-pentachlorodibenzo-para-dioxine	C ₁₂ H ₃ Cl ₅ O ₂	40321-76-4	9	10	10	13	9	11	8,4E+01	5,8E+01	7,4E+01	5,1E+01	7,9E+01	5,7E+01		10
2,3,7,8-TCDD ss	C ₁₂ H ₄ Cl ₄ O ₂	1746-01-6	10	11	9	10	10	10	8,0E+01	5,7E+01	7,5E+01	5,5E+01	7,9E+01	6,0E+01		10
1,2,3,7,8-pentachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₃ Cl ₅ O	57117-31-4	11	13	11	14	11	12	7,1E+01	5,1E+01	6,6E+01	4,9E+01	7,0E+01	5,4E+01		12
Antimoine	Sb	7440-36-0	12	9	12	9	12	9	6,3E+01	6,3E+01	6,3E+01	6,3E+01	6,3E+01	6,3E+01		11
acénaphthène ss	C ₁₂ H ₁₀	83-32-9	13	12	14	12	13	13	5,0E+01	5,5E+01	4,8E+01	5,2E+01	4,8E+01	5,1E+01		13
cadmium	Cd	7440-43-9	14	14	13	11	14	14	3,1E+01	3,1E+01	5,3E+01	5,3E+01	3,3E+01	3,3E+01	7,4E-03	13
arsenic ss	As	7440-38-2	15	15	15	15	15	15	2,2E+01	2,1E+01	2,7E+01	2,7E+01	2,5E+01	2,5E+01		15
plomb ss	Pb	7439-92-1	16	16	16	16	16	16	1,1E+01	1,1E+01	2,2E+01	2,2E+01	1,1E+01	1,2E+01	6,9E-02	16
pyrène ss	C ₁₆ H ₁₀	129-00-0	17	17	17	17	17	17	1,1E+01	1,1E+01	1,1E+01	1,2E+01	1,1E+01	1,2E+01		17
1,2,3,6,7,8-hexachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O	60851-34-5	18	18	18	18	18	18	8,0E+00	5,7E+00	7,8E+00	5,8E+00	8,2E+00	6,3E+00		18
1,2,3,4,7,8-hexachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O	72918-21-9	19	20	19	21	19	19	6,5E+00	4,6E+00	6,3E+00	4,7E+00	6,7E+00	5,1E+00		20
2,3,4,7,8-pentachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₃ Cl ₅ O	57117-41-6	20	21	22	24	22	23	6,4E+00	4,6E+00	6,0E+00	4,4E+00	6,3E+00	4,8E+00		22
2,3,4,6,7,8-hexachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O	70648-26-9	21	23	20	22	20	20	6,4E+00	4,6E+00	6,2E+00	4,6E+00	6,5E+00	5,0E+00		21
1,2,3,7,8,9-hexachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O	57117-44-9	22	24	21	23	21	22	6,2E+00	4,5E+00	6,1E+00	4,5E+00	6,4E+00	4,9E+00		22
phénanthrène	C ₁₄ H ₁₀	85-01-8	23	19	24	20	24	21	4,8E+00	5,2E+00	4,8E+00	5,1E+00	4,7E+00	5,0E+00		22
acénaphthène	C ₁₂ H ₁₀	83-32-9	24	22	25	25	25	25	4,2E+00	4,6E+00	4,0E+00	4,3E+00	4,0E+00	4,2E+00		24
arsenic	As	7440-38-2	25	25	23	19	23	24	4,1E+00	4,1E+00	5,2E+00	5,2E+00	4,8E+00	4,8E+00		23
pyrène	C ₁₆ H ₁₀	129-00-0	26	26	27	27	26	26	1,8E+00	1,9E+00	1,9E+00	2,0E+00	1,8E+00	1,9E+00		26
fluoranthène	C ₁₆ H ₁₀	206-44-0	27	27	28	28	27	27	1,3E+00	1,3E+00	1,3E+00	1,4E+00	1,3E+00	1,3E+00		27
zinc	Zn	7440-66-6	28	28	26	26	28	28	1,2E+00	1,2E+00	2,2E+00	2,2E+00	1,2E+00	1,2E+00	7,2E-04	27
1,2,3,4,7,8-hexachlorodibenzo-para-dioxine	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O ₂	57653-85-7	29	29	29	31	29	30	9,5E-01	7,2E-01	8,8E-01	6,8E-01	9,2E-01	7,3E-01		30
baryum	Ba	7440-39-3	30	35	30	29	30	29	6,9E-01	7,4E-02	8,0E-01	8,0E-01	8,0E-01	8,0E-01		31
1,2,3,6,7,8-hexachlorodibenzo-para-dioxine	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O ₂	39227-28-6	31	30	33	33	31	32	6,7E-01	5,1E-01	6,2E-01	4,7E-01	6,4E-01	5,1E-01		32
2,3,7,8-TCDD	C ₁₂ H ₄ Cl ₄ O ₂	1746-01-6	32	31	34	34	33	33	6,1E-01	4,4E-01	5,8E-01	4,2E-01	6,1E-01	4,6E-01		33
plomb	Pb	7439-92-1	33	32	31	30	34	34	3,7E-01	3,8E-01	7,2E-01	7,5E-01	3,8E-01	4,0E-01	9,7E-05	32
anthracène	C ₁₄ H ₁₀	120-12-7	34	33	35	35	35	35	2,4E-01	2,5E-01	3,0E-01	3,1E-01	2,9E-01	3,0E-01		35
fluorène	C ₁₃ H ₁₀	86-73-7	35	34	32	32	32	31	1,9E-01	1,9E-01	6,4E-01	6,4E-01	6,4E-01	6,4E-01		33
1,2,3,4,7,8,9-heptachlorodibenzo-para-dioxine	C ₁₂ HCl ₇ O	55673-89-7	36	37	37	37	36	37	3,4E-02	2,3E-02	3,8E-02	2,9E-02	4,1E-02	3,1E-02		37
nickel	Ni	7440-02-0	37	36	36	36	37	36	3,0E-02	3,0E-02	4,3E-02	4,3E-02	3,5E-02	3,5E-02	6,7E-06	36
benzène ss	C ₆ H ₆	71-43-2	38	38	40	39	38	38	5,9E-03	1,5E-03	1,4E-03	4,6E-04	2,9E-03	9,5E-04		39
éthylbenzène ss	C ₈ H ₁₀	100-41-4	39	39	38	40	39	40	4,7E-03	9,3E-04	1,9E-03	3,1E-04	1,9E-03	5,1E-04		39
sélénium	Se	7782-49-2	40	40	39	38	40	39	9,3E-04	8,8E-04	1,6E-03	1,6E-03	8,8E-04	8,6E-04		39
naphtalène	C ₁₀ H ₈	91-20-3	41	41	41	41	41	41	2,2E-04	2,3E-04	2,1E-04	2,2E-04	2,1E-04	2,2E-04		41
benzène	C ₆ H ₆	71-43-2	42	42	43	43	42	43	1,2E-04	2,9E-05	2,9E-05	9,2E-06	5,9E-05	1,9E-05		43
octachlorodibenzo-para-dioxine	C ₁₂ Cl ₈ O ₂	3268-87-9	43	43	42	42	43	42	2,7E-05	1,9E-05	3,7E-05	3,0E-05	3,8E-05	3,2E-05		43
acroléine	C ₃ H ₄ O	107-02-8	44	44	44	44	44	44	1,2E-05	8,8E-06	3,8E-06	2,6E-06	5,6E-06	3,0E-06		44
benzaldéhyde	C ₇ H ₆ O	100-52-7	45	45	46	45	46	45	5,2E-06	2,7E-06	1,3E-06	6,8E-07	2,2E-06	9,9E-07		45
toluène	C ₇ H ₈	108-88-3	46	46	47	47	45	46	4,6E-06	1,0E-06	1,0E-06	2,0E-07	2,3E-06	7,3E-07		46
éthylbenzène	C ₈ H ₁₀	100-41-4	47	47	45	46	47	48	4,2E-06	8,5E-07	1,7E-06	2,8E-07	1,7E-06	4,6E-07		47
styrène	C ₈ H ₈	100-42-5	48	48	48	48	48	47	2,4E-06	8,1E-07	4,1E-07	1,5E-07	1,3E-06	4,8E-07		48
acétaldéhyde	C ₂ H ₄ O	75-07-0	49	49	49	49	49	49	5,3E-08	3,7E-08	1,7E-08	1,1E-08	2,4E-08	1,3E-08		49
acétone	C ₃ H ₆ O	67-64-1	50	50	50	50	50	50	1,4E-08	9,9E-09	2,8E-09	2,0E-09	5,0E-09	3,0E-09		50

Annexe 19 : Résultats du test de Friedman pour les 3 classements issus de la hiérarchisation des substances

Afin d'analyser l'influence des 6 scénarios retenus – urbain 2015, urbain 2030, autoroute 2015, autoroute 2030, nationale 2015 et nationale 2030 - sur le calcul de hiérarchisation, il a été réalisé une analyse statistique à partir du test de Friedman. Ce test permet de comparer plusieurs échantillons non indépendants et non paramétriques. Un calcul de rang est réalisé à partir des données de hiérarchisation et décrit la similarité ou la différence des échantillons testés.

Classement pour l'exposition orale

XLSTAT 2010.5.05 - Comparaison de k échantillons (Kruskal-Wallis, Friedman, ...) - le 24/04/2012 à 10:46:55

Echantillons : Classeur = Données_Friedman_Résultats.xlsm / Feuille = orale / Plage = orale!\$J\$3:\$O\$53 / 50 lignes et 6 colonnes

Niveau de signification (%) : 5

Statistiques descriptives :

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart -type
Urbain 2015	50	0	50	1,4E-08	1,7E+04	4,8E+02	2,4E+03
Urbain 2030	50	0	50	9,9E-09	1,8E+04	5,1E+02	2,6E+03
Autoroute 2015	50	0	50	2,8E-09	1,7E+04	5,0E+02	2,4E+03
Autoroute 2030	50	0	50	2,0E-09	1,8E+04	5,3E+02	2,6E+03
Nationale 2015	50	0	50	5,0E-09	1,7E+04	4,9E+02	2,4E+03
Nationale 2030	50	0	50	3,0E-09	1,8E+04	5,2E+02	2,5E+03

Test de Friedman :

Q (Valeur observée)	5,559
Q (Valeur critique)	11,070
DDL	5
p-value (bilatérale)	0,352
alpha	0,05

Interprétation du test :

H0 : Les échantillons proviennent de la même population.

Ha : Les échantillons proviennent de populations différentes.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est de 35,15%.

Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Nemenyi / Test bilatéral :

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes
Urbain 2030	50	151,000	3,020	A
Nationale 2030	50	169,500	3,390	A
Autoroute 2030	50	176,000	3,520	A
Urbain 2015	50	180,000	3,600	A
Nationale 2015	50	182,500	3,650	A
Autoroute 2015	50	191,000	3,820	A

Tableau des différences par paires :

	Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Autoroute 2030	Nationale 2015	Nationale 2030
Urbain 2015	0	0,580	-0,220	0,080	-0,050	0,210
Urbain 2030	-0,580	0	-0,800	-0,500	-0,630	-0,370
Autoroute 2015	0,220	0,800	0	0,300	0,170	0,430
Autoroute 2030	-0,080	0,500	-0,300	0	-0,130	0,130
Nationale 2015	0,050	0,630	-0,170	0,130	0	0,260
Nationale 2030	-0,210	0,370	-0,430	-0,130	-0,260	0

Différence critique : 1,0983

p-values :

	Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Autoroute 2030	Nationale 2015	Nationale 2030
Urbain 2015	1	0,121	0,557	0,831	0,894	0,575
Urbain 2030	0,121	1	0,033	0,181	0,092	0,323
Autoroute 2015	0,557	0,033	1	0,423	0,650	0,250
Autoroute 2030	0,831	0,181	0,423	1	0,728	0,728
Nationale 2015	0,894	0,092	0,650	0,728	1	0,487
Nationale 2030	0,575	0,323	0,250	0,728	0,487	0

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0033

Différences significatives :

	Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Autoroute 2030	Nationale 2015	Nationale 2030
Urbain 2015	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Urbain 2030	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Autoroute 2015	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Autoroute 2030	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Nationale 2015	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Nationale 2030	Non	Non	Non	Non	Non	Non

Classement pour l'exposition respiratoire aiguë

XLSTAT 2010.5.05 - Comparaison de k échantillons (Kruskal-Wallis, Friedman, ...) - le 29/05/2012 à 14:20:30

Echantillons : Classeur = Données_Friedman_mai 12.xls / Feuille = resp_A / Plage = resp_A!\$J\$3:\$O\$20 / 17 lignes et 6 colonnes

Niveau de signification (%) : 5

Statistiques descriptives :

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Urbain 2015	17	0	17	1,9E-08	2,6E-04	5,5E-05	9,0E-05
Urbain 2030	17	0	17	1,7E-08	1,4E-04	2,8E-05	5,0E-05
Autoroute 2015	17	0	17	2,2E-08	2,6E-04	5,4E-05	9,2E-05
Autoroute 2030	17	0	17	1,3E-08	1,7E-04	2,6E-05	4,9E-05
Nationale 2015	17	0	17	2,9E-08	2,2E-04	5,2E-05	8,6E-05
Nationale 2030	17	0	17	2,0E-08	1,8E-04	2,6E-05	5,0E-05

Test de Friedman :

Q (Valeur observée)	29,746
Q (Valeur critique)	11,070
DDL	5
p-value (bilatérale)	< 0,0001
alpha	0,05

Interprétation du test :
 H0 : Les échantillons proviennent de la même population.
 Ha : Les échantillons proviennent de populations différentes.
 Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.
 Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 0,01%.

Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Nemenyi / Test bilatéral :

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes		
Urbain 2030	17	37,500	2,206	A		
Nationale 2030	17	45,500	2,676	A	B	
Autoroute 2030	17	47,500	2,794	A	B	
Urbain 2015	17	70,500	4,147		B	C
Nationale 2015	17	75,500	4,441		B	C
Autoroute 2015	17	80,500	4,735			C

Tableau des différences par paires :

	Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Autoroute 2030	Nationale 2015	Nationale 2030
Urbain 2015	0	1,941	-0,588	1,353	-0,294	1,471
Urbain 2030	-1,941	0	-2,529	-0,588	-2,235	-0,471
Autoroute 2015	0,588	2,529	0	1,941	0,294	2,059
Autoroute 2030	-1,353	0,588	-1,941	0	-1,647	0,118
Nationale 2015	0,294	2,235	-0,294	1,647	0	1,765
Nationale 2030	-1,471	0,471	-2,059	-0,118	-1,765	0

Différence critique : 1,8835

p-values :

	Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Autoroute 2030	Nationale 2015	Nationale 2030
Urbain 2015	1	0,002	0,359	0,035	0,647	0,022
Urbain 2030	0,002	1	< 0,0001	0,359	0,000	0,463
Autoroute 2015	0,359	< 0,0001	1	0,002	0,647	0,001
Autoroute 2030	0,035	0,359	0,002	1	0,010	0,855
Nationale 2015	0,647	0,000	0,647	0,010	1	0,006
Nationale 2030	0,022	0,463	0,001	0,855	0,006	0

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0033

Différences significatives :

	Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Autoroute 2030	Nationale 2015	Nationale 2030
Urbain 2015	Non	Oui	Non	Non	Non	Non
Urbain 2030	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
Autoroute 2015	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui
Autoroute 2030	Non	Non	Oui	Non	Non	Non
Nationale 2015	Non	Oui	Non	Non	Non	Non
Nationale 2030	Non	Non	Oui	Non	Non	Non

Classement pour l'exposition respiratoire chronique

XLSTAT 2010.5.05 - Comparaison de k échantillons (Kruskal-Wallis, Friedman, ...) - le 24/04/2012 à 10:45:39

Echantillons : Classeur = Données_Friedman_Résultats.xlsm / Feuille = resp_C / Plage = resp_C!\$J\$3:\$O\$61 / 58 lignes et 6 colonnes

Niveau de signification (%) : 5

Statistiques descriptives :

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Urbain 2015	58	0	58	1,0E-10	5,7E-01	1,7E-02	7,9E-02
Urbain 2030	58	0	58	7,1E-11	5,7E-01	1,4E-02	7,8E-02
Autoroute 2015	58	0	58	1,4E-10	5,7E-01	1,4E-02	7,6E-02
Autoroute 2030	58	0	58	1,1E-10	5,7E-01	1,3E-02	7,7E-02
Nationale 2015	58	0	58	1,4E-10	8,0E-01	1,9E-02	1,1E-01
Nationale 2030	58	0	58	1,2E-10	8,2E-01	1,7E-02	1,1E-01

Test de Friedman :

Q (Valeur observée)	30,511
Q (Valeur critique)	11,070
DDL	5
p-value (bilatérale)	< 0,0001
alpha	0,05

Interprétation du test :

H0 : Les échantillons proviennent de la même population.

Ha : Les échantillons proviennent de populations différentes.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification $\alpha=0,05$, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 0,01%.

Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Nemenyi / Test bilatéral :

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes	
Autoroute 2030	58	161,000	2,776	A	
Urbain 2030	58	174,500	3,009	A	
Nationale 2030	58	185,500	3,198	A	B
Autoroute 2015	58	214,000	3,690	A	B
Urbain 2015	58	241,500	4,164		B
Nationale 2015	58	241,500	4,164		B

Tableau des différences par paires:

	Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Autoroute 2030	Nationale 2015	Nationale 2030
Urbain 2015	0	1,155	0,474	1,388	0,000	0,966
Urbain 2030	-1,155	0	-0,681	0,233	-1,155	-0,190
Autoroute 2015	-0,474	0,681	0	0,914	-0,474	0,491
Autoroute 2030	-1,388	-0,233	-0,914	0	-1,388	-0,422
Nationale 2015	0,000	1,155	0,474	1,388	0	0,966
Nationale 2030	-0,966	0,190	-0,491	0,422	-0,966	0

Différence critique : 1,0197

p-values :

	Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Autoroute 2030	Nationale 2015	Nationale 2030
Urbain 2015	1	0,001	0,172	< 0,0001	1,000	0,005
Urbain 2030	0,001	1	0,050	0,503	0,001	0,585
Autoroute 2015	0,172	0,050	1	0,009	0,172	0,157
Autoroute 2030	< 0,0001	0,503	0,009	1	< 0,0001	0,224
Nationale 2015	1,000	0,001	0,172	< 0,0001	1	0,005
Nationale 2030	0,005	0,585	0,157	0,224	0,005	0

Niveau de signification corrigé de Bonferroni : 0,0033

Différences significatives :

	Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Autoroute 2030	Nationale 2015	Nationale 2030
Urbain 2015	Non	Oui	Non	Oui	Non	Non
Urbain 2030	Oui	Non	Non	Non	Oui	Non
Autoroute 2015	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Autoroute 2030	Oui	Non	Non	Non	Oui	Non
Nationale 2015	Non	Oui	Non	Oui	Non	Non
Nationale 2030	Non	Non	Non	Non	Non	Non

Annexe 20 : Classement pour l'exposition respiratoire chronique avec les mélanges de HAP selon l'approche par équivalent-toxique

NOM	Formule	N°CAS	CLASSEMENT						INDICE DE HIERARCHISATION						RATIO DE DANGER	Somme des rangs	
			Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Autoroute 2030	Nationale 2015	Nationale 2030	Urbain 2015	Urbain 2030	Autoroute 2015	Autoroute 2030	Nationale 2015	Nationale 2030			
Chrome	Cr	7440-47-3	1	1	1	1	1	1	1	5,7E-01	5,7E-01	5,7E-01	5,7E-01	8,0E-01	8,2E-01	1,2E+03	1
mélange HAP			2	2	2	2	2	2	2	3,8E-01	4,1E-01	4,3E-01	4,6E-01	4,2E-01	4,4E-01		2
1,3-butadiène 10-6	C ₄ H ₆	106-99-0	3	4	4	4	4	4	4	1,7E-01	6,1E-02	5,8E-02	2,3E-02	1,1E-01	3,5E-02	1,0E+02	4
benzo[a]pyrène	C ₂₀ H ₁₂	50-32-8	4	3	3	3	3	3	3	1,2E-01	1,3E-01	1,3E-01	1,3E-01	1,2E-01	1,3E-01	9,2E+01	3
acroléine	C ₃ H ₄ O	107-02-8	5	5	5	5	5	5	5	6,6E-02	4,9E-02	2,1E-02	1,5E-02	3,1E-02	1,7E-02	1,0E+01	5
benzène 10-6	C ₆ H ₆	71-43-2	6	6	6	7	6	6	6	2,1E-02	5,1E-03	5,1E-03	1,6E-03	1,0E-02	3,3E-03	8,8E+00	6
éthylbenzène 10-6	C ₈ H ₁₀	100-41-4	7	9	7	10	8	9	9	7,4E-03	1,5E-03	3,0E-03	4,9E-04	3,0E-03	8,1E-04		8
acétaldéhyde 10-6	C ₂ H ₄ O	75-07-0	8	7	8	8	7	8	8	6,9E-03	4,8E-03	2,3E-03	1,5E-03	3,2E-03	1,7E-03	4,1E+00	8
indéno[1,2,3-cd]pyrène	C ₂₂ H ₁₂	193-39-5	9	8	9	6	9	7	7	1,6E-03	1,7E-03	1,7E-03	1,8E-03	1,7E-03	1,7E-03		8
dibenzo[a,l]pyrène	C ₂₄ H ₁₄	191-30-0	10	10	10	9	11	11	11	5,4E-04	5,7E-04	5,1E-04	5,4E-04	5,1E-04	5,3E-04		10
1,3-butadiène	C ₄ H ₆	106-99-0	11	19	18	20	14	20	20	5,1E-04	1,8E-04	1,7E-04	6,7E-05	3,1E-04	1,0E-04	3,0E-01	17
formaldéhyde	CH ₂ O	50-00-0	12	14	20	19	18	19	19	4,9E-04	3,3E-04	1,6E-04	1,0E-04	2,2E-04	1,2E-04	3,0E-01	17
naphtalène	C ₁₀ H ₈	91-20-3	13	12	13	12	13	13	13	3,9E-04	4,1E-04	3,7E-04	3,8E-04	3,7E-04	3,8E-04		13
dibenzo[a,h]anthracène	C ₂₂ H ₁₄	53-70-3	14	11	11	11	12	12	12	3,9E-04	4,2E-04	4,0E-04	4,2E-04	3,9E-04	4,2E-04		12
Nickel 10-6	Ni	7440-02-0	15	13	12	13	10	10	10	3,9E-04	3,8E-04	3,9E-04	3,8E-04	5,4E-04	5,4E-04	6,1E-01	12
benzène	C ₆ H ₆	71-43-2	16	21	23	29	20	23	23	3,4E-04	8,5E-05	8,4E-05	2,7E-05	1,7E-04	5,5E-05	1,5E-01	22
acétaldéhyde	C ₂ H ₄ O	75-07-0	17	18	22	22	22	21	21	2,8E-04	2,0E-04	9,4E-05	6,1E-05	1,3E-04	7,1E-05	1,7E-01	20
benzo[a]anthracène	C ₁₈ H ₁₂	56-55-3	18	15	15	14	15	14	14	2,7E-04	2,9E-04	2,8E-04	2,9E-04	2,7E-04	2,9E-04		15
Arsenic 10-6	As	7440-38-2	19	16	14	15	16	15	15	2,2E-04	2,2E-04	2,8E-04	2,8E-04	2,6E-04	2,6E-04	1,7E+00	16
benzo[b]fluoranthène	C ₂₀ H ₁₂	205-99-2	20	17	16	16	17	16	16	1,9E-04	2,0E-04	2,2E-04	2,3E-04	2,2E-04	2,3E-04		17
benzo[k]fluoranthène	C ₂₀ H ₁₂	207-08-9	21	20	17	17	19	17	17	1,6E-04	1,6E-04	2,0E-04	2,0E-04	1,9E-04	2,0E-04		19
propionaldéhyde	C ₃ H ₆ O	123-38-6	22	22	31	32	30	29	29	1,0E-04	7,6E-05	2,7E-05	1,8E-05	3,6E-05	2,2E-05		28
ammoniac	NH ₃	7664-41-7	23	31	21	31	23	30	30	9,7E-05	1,9E-05	9,9E-05	2,1E-05	8,9E-05	2,0E-05		27
benzo[j]fluoranthène	C ₂₀ H ₁₂	205-82-3	24	23	19	18	21	18	18	6,7E-05	6,7E-05	1,7E-04	1,7E-04	1,7E-04	1,7E-04		21
chrysène	C ₁₈ H ₁₂	218-01-9	25	24	24	21	24	22	22	4,8E-05	5,1E-05	5,9E-05	6,2E-05	5,8E-05	6,1E-05		23
1,2,3,7,8-pentachlorodibenzo-para-dioxine	C ₁₂ H ₃ Cl ₅ O ₂	40321-76-4	26	25	26	26	26	26	26	4,7E-05	3,2E-05	4,1E-05	2,8E-05	4,4E-05	3,2E-05		26
2,3,4,7,8-pentachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₃ Cl ₅ O	57117-31-4	27	27	27	27	28	27	27	4,0E-05	2,9E-05	3,8E-05	2,8E-05	4,0E-05	3,1E-05		27
2,3,7,8-TCDD 10-6	C ₁₂ H ₄ Cl ₄ O ₂	1746-01-6	28	29	28	30	29	28	28	3,7E-05	2,6E-05	3,4E-05	2,5E-05	3,6E-05	2,8E-05		29
Nickel	Ni	7440-02-0	29	26	30	25	27	25	25	3,0E-05	2,9E-05	3,0E-05	2,9E-05	4,2E-05	4,2E-05	4,6E-02	27
Plomb 10-6	Pb	7439-92-1	30	28	32	28	25	24	24	2,6E-05	2,7E-05	2,6E-05	2,7E-05	5,1E-05	5,3E-05	2,8E-02	28
dibenzo[a,i]pyrène	C ₂₄ H ₁₄	189-55-9	31	30	25	23	31	31	31	2,3E-05	2,3E-05	4,6E-05	4,6E-05	1,3E-05	1,3E-05		29
dibenzo[a,h]pyrène	C ₂₄ H ₁₄	189-64-0	32	32	33	33	42	40	40	1,2E-05	1,2E-05	1,7E-05	1,7E-05	4,1E-06	4,1E-06		35
éthylbenzène	C ₈ H ₁₀	100-41-4	33	43	40	48	41	46	46	1,1E-05	2,3E-06	4,6E-06	7,5E-07	4,7E-06	1,2E-06		42
dibenzo[a,e]pyrène	C ₂₄ H ₁₄	192-65-4	34	33	29	24	33	33	33	1,1E-05	1,1E-05	3,1E-05	3,1E-05	1,0E-05	1,0E-05		31
Baryum	Ba	7440-39-3	35	47	35	35	32	32	32	9,8E-06	1,0E-06	1,1E-05	1,1E-05	1,1E-05	1,1E-05		36
styrène	C ₈ H ₈	100-42-5	36	41	45	49	40	45	45	9,5E-06	3,2E-06	1,6E-06	6,1E-07	5,1E-06	1,9E-06		43
Mercur	Hg	7439-97-6	37	34	34	34	34	35	35	9,0E-06	8,7E-06	1,6E-05	1,6E-05	8,7E-06	8,6E-06		35
1,2,3,4,7,8-hexachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O	70648-26-9	38	35	36	36	36	36	36	7,8E-06	5,6E-06	7,6E-06	5,6E-06	8,0E-06	6,2E-06		36
1,2,3,6,7,8-hexachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O	57117-44-9	38	35	36	36	36	36	36	7,8E-06	5,6E-06	7,6E-06	5,6E-06	8,0E-06	6,2E-06		36
1,2,3,7,8,9-hexachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O	72918-21-9	38	35	36	36	36	36	36	7,8E-06	5,6E-06	7,6E-06	5,6E-06	8,0E-06	6,2E-06		36
2,3,4,6,7,8-hexachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O	60851-34-5	38	35	36	36	36	36	36	7,8E-06	5,6E-06	7,6E-06	5,6E-06	8,0E-06	6,2E-06		36
Plomb	Pb	7439-92-1	42	39	42	40	35	34	34	4,4E-06	4,5E-06	4,4E-06	4,5E-06	8,5E-06	8,8E-06	1,4E-02	39
1,2,3,7,8-pentachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₃ Cl ₅ O	57117-41-6	43	42	43	43	44	42	42	4,0E-06	2,9E-06	3,8E-06	2,8E-06	4,0E-06	3,1E-06		43
Arsenic	As	7440-38-2	44	40	41	41	43	41	41	3,5E-06	3,4E-06	4,4E-06	4,3E-06	4,0E-06	4,0E-06	2,7E-02	42
toluène	C ₇ H ₈	108-88-3	45	50	51	51	47	50	50	3,4E-06	7,6E-07	7,7E-07	1,5E-07	1,7E-06	5,4E-07		49
hexane (n-hexane)	C ₆ H ₁₄	110-54-3	46	52	50	50	48	51	51	2,3E-06	5,3E-07	9,5E-07	1,6E-07	1,1E-06	3,5E-07		50
Cadmium	Cd	7440-43-9	47	44	44	42	46	44	44	1,8E-06	1,8E-06	3,1E-06	3,1E-06	1,9E-06	2,0E-06	3,2E-04	45
propène	C ₃ H ₆	115-07-1	48	51	52	52	52	52	52	1,6E-06	6,2E-07	3,0E-07	1,2E-07	7,2E-07	2,9E-07		51
Cuivre	Cu	7440-50-8	49	46	46	45	45	43	43	1,1E-06	1,1E-06	1,1E-06	1,1E-06	2,0E-06	2,0E-06		46
1,2,3,4,7,8-hexachlorodibenzo-para-dioxine	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O ₂	39227-28-6	50	48	48	46	50	48	48	1,1E-06	8,3E-07	1,0E-06	7,8E-07	1,1E-06	8,4E-07		48
1,2,3,6,7,8-hexachlorodibenzo-para-dioxine	C ₁₂ H ₂ Cl ₆ O ₂	57653-85-7	50	48	48	46	50	48	48	1,1E-06	8,3E-07	1,0E-06	7,8E-07	1,1E-06	8,4E-07		48
acide cyanhydrique	HCN	74-90-8	52	45	47	44	49	47	47	1,1E-06	1,1E-06	1,1E-06	1,1E-06	1,1E-06	1,1E-06		47
cyclohexane	C ₆ H ₁₂	110-82-7	53	54	53	54	53	53	53	1,9E-07	7,0E-08	3,7E-08	1,5E-08	9,9E-08	3,8E-08		53
Molybdène	Mo	7439-98-7	54	53	56	55	54	54	54	1,1E-07	1,1E-07	1,2E-08	1,2E-08	2,9E-08	2,9E-08		54
acétone	C ₃ H ₆ O	67-64-1	55	55	58	58	57	57	57	5,2E-08	3,6E-08	1,0E-08	7,4E-09	1,8E-08	1,1E-08		57
2,3,7,8-tetrachlorodibenzofurane	C ₁₂ H ₄ Cl ₄ O	51207-31-9	56	56	55	56	56	56	56	2,1E-08	1,4E-08	1,8E-08	1,2E-08	1,9E-08	1,4E-08		56
1,2,3,4,7,8,9-heptachlorodibenzo-para-dioxine	C ₁₂ HCl ₇ O	55673-89-7	57	57	54	53	55	55	55	1,8E-08	1,2E-08	2,0E-08	1,5E-08	2,1E-08	1,6E-08		55
anthracène	C ₁₄ H ₁₀	120-12-7	58	58	57	57	58	58	58	8,8E-09	9,2E-09	1,1E-08	1,1E-08	1,1E-08	1,1E-08		58
octachlorodibenzo-para-dioxine	C ₁₂ Cl ₈ O ₂	3268-87-9	59	59	59	59	59										

Annexe 22 : Liens mentionnés dans les déclarations publiques d'intérêts des experts

Cette partie présente les liens déclarés par les experts dans le cadre de leur déclaration publique d'intérêt et précise d'une part comment ces liens ont été analysés par rapport au domaine sur lequel porte la saisine et d'autre part la manière dont ils ont été gérés, eu égard à un risque potentiel de conflit d'intérêts.

Les déclarations publiques d'intérêts sont mises à jour par les experts à chaque changement de situation.

Au cours des expertises, les liens d'intérêts sont réexaminés au vu de l'ordre du jour au début de chaque réunion.

RAPPEL DES RUBRIQUES DE LA DECLARATION PUBLIQUE D'INTERETS

IF	Intérêts financiers dans le capital d'une entreprise
IP-A	Interventions ponctuelles : autres
IP-AC	Interventions ponctuelles : activités de conseil
IP-CC	Interventions ponctuelles : conférences, colloques, actions de formation
IP-RE	Interventions ponctuelles : rapports d'expertise
IP-SC	Interventions ponctuelles : travaux scientifiques, essais, <i>etc.</i>
LD	Liens durables ou permanents
PF	Participation financière dans le capital d'une entreprise
SR	Autres liens sans rémunération (relatifs à un parent)
SR-A	Autres liens sans rémunération)
VB	Activités donnant lieu à un versement au budget d'un organisme

POUR LE COMITE D'EXPERT SPECIALISE

NOM Analyse Anses :	Prénom <i>Rubriques de la DPI</i> Description de l'intérêt <i>en cas de lien déclaré</i>	Date de déclaration des intérêts
BAEZA Analyse Anses :	Armelle Aucun lien déclaré /	actualisée le 04/02/2011
BLANCHARD Analyse Anses :	Olivier <i>LD</i> Salarié de l'Ineris (Institut national de l'environnement industriel et des risques) (jusqu'en 2009) Pas de risque de conflit d'intérêt par rapport à la thématique de la saisine	actualisée le 28/01/2011

NOM	Prénom <i>Rubriques de la DPI</i> Description de l'intérêt <i>en cas de lien déclaré</i>	Date de déclaration des intérêts
BOUDET-DEVIDAL	<p>Céline</p> <p>LD</p> <p>Salariée de l'Ineris (Institut national de l'environnement industriel et des risques)</p> <p>IP : travaux scientifiques, essais, etc.</p> <p>Travaux sur modèle TRA (<i>Targeted Risk Assessment</i>) pour ECETOC (<i>European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals</i>) (2006-2008) (aucune rémunération)</p> <p>Travaux sur RIP (REACH <i>Implementation Project</i>) 3.3 pour le Cefic (Conseil européen des fédérations de l'industrie chimique) (2005-2007) (aucune rémunération)</p> <p>IP : rapports d'expertise</p> <p>Valeurs toxicologiques de référence pour Arkema (2006-2007)</p> <p>Evaluation des risques pour Areva (2009)</p> <p>Evaluation des risques hydrazine pour le Cnes (Centre national des études spatiales) (2009-2010)</p> <p>Evaluation des risques compostage pour Veolia Propreté (2009-2010)</p> <p>Evaluation des risques pour Colas (2009-2010)</p> <p>Evaluation des risques pour Novergie (2009-2010)</p> <p>Bioaccessibilité pour Total (depuis 2010)</p> <p>Evaluation des risques pour Arcelor (depuis 2010)</p> <p>IP : activités de conseil</p> <p>Formations en toxicologie pour EDF (Electricité de France) donnant lieu à versement à l'organisme d'appartenance (2006-2007)</p> <p>IP : conférences, colloques, actions de formation</p> <p>Conseil scientifique projet traitement déchets du Symove (Syndicat mixte Oise verte environnement) donnant lieu à versement à l'organisme d'appartenance (2010)</p> <p>IP : autres</p> <p>Interventions régulières + ponctuelles dans le domaine de l'évaluation des risques sanitaires du ministère chargé de l'écologie donnant lieu à versement à l'organisme d'appartenance (programme d'appui) (depuis 2005)</p> <p>Convention annuelle avec la Direction générale de la santé (risques émergents, évaluation des risques sanitaires) donnant lieu à versement à l'organisme d'appartenance (depuis 2005) Comité scientifique du plan national de bio surveillance de l'InVS (Institut de veille sanitaire) (depuis 2011) (aucune rémunération)</p> <p>Analyse Anses : Pas de risque de conflit d'intérêt par rapport à la thématique de la saisine</p>	actualisée le 04/02/2011

NOM	Prénom <i>Rubriques de la DPI</i> Description de l'intérêt <i>en cas de lien déclaré</i>	Date de déclaration des intérêts
<p>CHARPIN</p> <p>Analyse Anses :</p>	<p>Denis</p> <p>LD</p> <p>Président de l'Association Conseil-habitat-santé</p> <p>IP : travaux scientifiques, essais, etc.</p> <p>Evaluation du photoceen sur les allergènes aéroportés de chat pour la société Alcion (février à octobre 2006) (rémunération sur compte associatif)</p> <p>Essai clinique de phase 2 de l'indacatérol pour les laboratoires Novartis (2008) (rémunération sur compte associatif)</p> <p>Essai clinique de phase 3 de l'aclinidium pour le laboratoire Almirall (2010) (rémunération sur compte associatif)</p> <p>IP : activités de conseil</p> <p>Membre du board national et régional Onbrez pour les laboratoires Novartis (depuis juin 2010) (honoraires)</p> <p>IP : conférences, colloques, actions de formation</p> <p>Congrès Preuves et Pratiques pour le laboratoire Novartis (Janvier 2012)(Honoraires)</p> <p>Conférence pour les laboratoires Pfizer (novembre 2011) (honoraires)</p> <p>VB</p> <p>Aide à la recherche de Stallergènes, Novartis, GSK, Chiesi, ALK donnant lieu à versement à l'association dont il est président (20 % du budget de l'association)</p> <p>Pierre Favre (Association Conseil habitat-santé) : Aide à la recherche (4% du budget du laboratoire où l'expert est Président)</p> <p>Analyse Anses :</p> <p>Pas de risque de conflit d'intérêt par rapport à la thématique de la saisine</p>	<p>actualisée le 23/02/2012</p>

NOM Analyse Anses :	Prénom <i>Rubriques de la DPI</i> Description de l'intérêt <i>en cas de lien déclaré</i>	Date de déclaration des intérêts
----------------------------	---	--

GLORENNEC	<p>Philippe</p> <p>IF Épargne salariale conjoint chez Legris SA</p> <p>LD Contrat à durée déterminée depuis 2002 à l'EHESP (Ecole des hautes études en santé publique) Membre du Conseil d'administration d'Air Breizh (Association agréée pour la surveillance de la qualité de l'air en Bretagne) de 2005 à 2008 (aucune rémunération)</p> <p>IP : activités de conseil Groupes de travail et validation de documents pour l'InVS (Institut de veille sanitaire) (aucune rémunération) Programme de recherche Primequal (Programme de recherche interorganisme pour une meilleure qualité de l'air à l'échelle locale) : Conseil scientifique (2009-2011) (aucune rémunération) INSERM : Expertise collective "Dépistage du saturnisme infantile" (Vous)</p> <p>IP : conférences, colloques, actions de formation (réunion soutenue financièrement ou organisée par une entreprise dont les produits entrent dans le champ de compétences de l'Anses) Préfecture de l'Aude : Conseil scientifique « risques sanitaires liés à la vallée de l'Orbiel, Salsigne » (2006-2007) (rémunération personnelle)</p> <p>IP : rapports d'expertise Commission Européenne : GT Plomb dans l'eau (De 2010 à 2010)(vacation)</p> <p>IP : autres Multiples sociétés : formations continues EHESP (Ecole des hautes études en santé publique) donnant lieu à versement à l'organisme d'appartenance (en cours) Collectivités territoriales, syndicats de traitement de déchets, universités, entreprises, associations : cours et conférences (en cours)</p> <p>VB Multiples entreprises : actions de formation ou analyses ou expertises réalisées par des collègues donnant lieu à versement à l'organisme d'appartenance</p> <p>SR Frère Ingénieur service Délégation services publics pour la ville de Rennes (depuis 2001) Conjoint - Assistante DRH chez Legris SA (De 1997 à 2008)</p>	actualisée le 26/01/2011
-----------	--	-----------------------------

NOM	Prénom <i>Rubriques de la DPI</i> Description de l'intérêt <i>en cas de lien déclaré</i>	Date de déclaration des intérêts
Analyse Anses :	Pas de risque de conflit d'intérêt par rapport à la thématique de la saisine	
HERRERA	Horacio VB Prestation d'évaluation de nuisances (métrologie) et conseil pour des entreprises publiques et privées en Suisse donnant lieu à versement à l'organisme d'appartenance (5 % du budget de l'IURST - Institut universitaire romand de santé au travail - où l'expert est chef de département-conseil et expertise métrologie)	actualisée le 28/01/2011
Analyse Anses :	Pas de risque de conflit d'intérêt par rapport à la thématique de la saisine	
KIRCHNER	Séverine LD Salariée du CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment), (Resp du Pôle Expologie des Environnements Intérieurs / Coordinatrice de l'OQAI) <i>IP : conférences, colloques, actions de formation</i> Conseil d'administration de la SFSE (Société française de santé et environnement) (aucune rémunération) OMS (Organisation mondiale de la santé) : <i>Steering Committee</i> Conseil d'administration du Rise (Réseau international santé environnement) (aucune rémunération)	actualisée le 03/02/2011
Analyse Anses :	Pas de risque de conflit d'intérêt par rapport à la thématique de la saisine	
LANGLOIS	Eddy LD Salarié de l'INRS (Institut national de recherche et de sécurité)	actualisée le 28/03/2012
Analyse Anses :	Pas de risque de conflit d'intérêt par rapport à la thématique de la saisine	

NOM Analyse Anses :	Prénom Rubriques de la DPI Description de l'intérêt <i>en cas de lien déclaré</i>	Date de déclaration des intérêts
--	--	---

PAILLAT Analyse Anses :	Loïc <i>IP : activités de conseil</i> Évaluation de laboratoires selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 pour le Cofrac (Comité français d'accréditation) (depuis juin 2007) SR Conjointe scientifique à l'Anses Pas de risque de conflit d'intérêt par rapport à la thématique de la saisine	actualisée le 30/01/2011
--	---	-----------------------------

NOM	Prénom <i>Rubriques de la DPI</i> Description de l'intérêt <i>en cas de lien déclaré</i>	Date de déclaration des intérêts
PARIS	<p>Christophe</p> <p>LD</p> <p>Membre de l'ORST (Observatoire régional de la santé au) travail Lorraine (depuis 2007) (aucune rémunération)</p> <p>Membre de l'Aract (Association régionale de l'amélioration des conditions de travail) (depuis 2007) (aucune rémunération)</p> <p>Membre de la Société française de médecine du travail (depuis 2004) (aucune rémunération)</p> <p>Participation Formation médicale continue pour l'IMT (Institut de médecine du travail) Lorraine (2003) (aucune rémunération)</p> <p>Membre du HCSP (Haut conseil de la santé publique) (2009-2011) (aucune rémunération)</p> <p>IP : travaux scientifiques, essais, etc.</p> <p>Rédaction de critiques d'articles scientifiques ou synthèses pour les revues médicales « Archives des maladies professionnelles et environnementales » et « Revue du praticien » (depuis 2005)</p> <p>Conseil en analyse d'une étude effectuée en milieu industriel pour IMT (Institut de médecine du travail) Nord donnant lieu à versement à l'organisme d'appartenance (2007-2009)</p> <p>« Cancer et environnement », expertise collective de l'Inserm (Institut national de la santé et de la recherche médicale) donnant lieu à versement à l'organisme d'appartenance (2006-2008)</p> <p>IP : activités de conseil</p> <p>Groupe de cotation de la HAS (Haute autorité de santé) (2007) (aucune rémunération)</p> <p>Étude sur les risques psycho-sociaux pour packaging donnant lieu à versement à l'organisme d'appartenance (2009-2010)</p> <p>IP : Conférences, colloques, actions de formation</p> <p>Cancers et travail (octobre 2007) (aucune rémunération) et congrès de pneumologie (2011) (aucune rémunération) pour la Société de pneumologie en langue française</p> <p>VB</p> <p>Enquête cas témoins CHU (Centre hospitalier universitaire) Nancy / INRS (Institut national de recherche et de sécurité) donnant lieu à versement au CHU (Centre hospitalier universitaire) de Nancy (2011)</p> <p>Expertise collective de l'Inserm (2010), (1% du budget du laboratoire où l'expert est Enseignant chercheur)</p> <p>Rapport « Amiante » pour la Cnam-TS (Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés) donnant lieu à versement à l'Inserm (Institut national de la santé et de la recherche médicale) (1 % du budget) (2012)</p> <p>Rapport « Cancer bronchique » de l'INCa (Institut national du cancer) donnant lieu à versement à l'Inserm (Institut national de la</p>	actualisée le 03/03/2011

NOM	Prénom Rubriques de la DPI Description de l'intérêt <i>en cas de lien déclaré</i>	Date de déclaration des intérêts
Analyse Anses :	santé et de la recherche médicale) (1 % du budget) (2012) Projet Cercan (cancérogènes professionnels) de la Cram donnant lieu à versement à la faculté de Nancy (1 % du budget) (2010) Pas de risque de conflit d'intérêt par rapport à la thématique de la saisine	
SEIGNEUR	Christian LD École nationale des ponts et chaussées : CDD (De août 2008 à juillet 2011) (Directeur du Cerea) <i>IP : travaux scientifiques, essais, etc.</i> Cours à l'Université Paris 7 (depuis 2009), l'École nationale des ponts et chaussées (2008-2011) et l'École centrale de Nantes (2009-2011) (vacations)	actualisée le 03/02/2011
SQUINAZI	Fabien LD Directeur du LHVP (Laboratoire d'hygiène de la ville de Paris)	actualisée le 25/10/2011
Analyse Anses :	Pas de risque de conflit d'intérêt par rapport à la thématique de la saisine	

POUR LE GROUPE DE TRAVAIL

NOM	Prénom <i>Rubriques de la DPI</i> Description de l'intérêt <i>en cas de lien déclaré</i>	Date de déclaration des intérêts
ANDRE Analyse Anses :	Michel Aucun lien déclaré /	actualisée le 28/03/2011
BUGAJNY	Christine LD Salariée de CETE (Centre d'études techniques de l'équipement) Nord-Picardie IP : conférences, colloques, actions de formation Intervention sur Environnement/qualité air pour l'Ecole des Ponts Paris Tech (rémunération personnelle) Analyse Anses : Pas de risque de conflit d'intérêt par rapport à la thématique de la saisine	actualisée le 11/03/2011
FLOCH- BARNEAUD	Adeline Démission le 7 décembre 2011 LD Salariée de l'INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques) (jusqu'en 2011) Analyse Anses : Pas de risque de conflit d'intérêt par rapport à la thématique de la saisine	actualisée le 15/03/2011
PASCAL Analyse Anses :	Mathilde Aucun lien déclaré /	1 actualisée le 8/11/2010

NOM	Prénom <i>Rubriques de la DPI</i> Description de l'intérêt <i>en cas de lien déclaré</i>	Date de déclaration des intérêts
PLASSAT Analyse Anses :	Gabriel LD Salariée de l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) Pas de risque de conflit d'intérêt par rapport à la thématique de la saisine	actualisée le 07/03/2011
RIVIERE Analyse Anses :	Emmanuel Aucun lien déclaré /	actualisée le 25/03/2011
SCIARE Analyse Anses :	Jean Aucun lien déclaré /	actualisée le 04/03/2011
SEIGNEUR Analyse Anses :	Christian LD École nationale des ponts et chaussées : CDD (De août 2008 à juillet 2011) (Directeur du Cerea) IP : travaux scientifiques, essais, etc. Cours à l'Université Paris 7 (depuis 2009), l'École nationale des ponts et chaussées (2008-2011) et l'École centrale de Nantes (2009-2011) (vacations) Pas de risque de conflit d'intérêt par rapport à la thématique de la saisine	actualisée le 03/02/2011

Notes



Agence nationale de sécurité sanitaire
de l'alimentation, de l'environnement et du travail
27-31 avenue du général Leclerc
94701 Maisons-Alfort Cedex
www.anses.fr