

Direction de l'évaluation des risques

Comité d'experts spécialisé « Evaluation des risques liés aux milieux aériens »

Procès-verbal de la réunion du 17 janvier 2019

Considérant le décret n° 2012-745 du 9 mai 2012 relatif à la déclaration publique d'intérêts et à la transparence en matière de santé publique et de sécurité sanitaire, ce procès-verbal retranscrit de manière synthétique les débats d'un collectif d'experts qui conduisent à l'adoption de conclusions. Ces conclusions fondent un avis de l'Anses sur une question de santé publique et de sécurité sanitaire, préalablement à une décision administrative.

Les avis de l'Anses sont publiés sur son site internet (www.anses.fr).

Etaient présent(e)s :

1. Membres du comité d'experts spécialisé :
 - Madame Nadif, présidente du CES.
 - Monsieur Paris, vice-président du CES.
 - Messieurs Dewitte, Durif, Glorennec, Joubert et Mercier.
 - Mesdames Achard, Bex, Bonvallot, Fréalle, Goupil, Guillemot, Jacquemin, Luce, Mandin et Oppiger.
2. Coordination scientifique de l'Anses

Etaient excusé(e)s, parmi les membres du collectif d'experts :

- Messieurs Bémer, Caillaud et Pernot.
- Mesdames Aschan-Leygonie et Monteil.

Présidence

Mme Rachel Nadif assure la présidence de la séance pour la journée.

1. ORDRE DU JOUR

L'expertise ayant fait l'objet d'une finalisation avec présentation d'une synthèse, et d'une adoption des conclusions et recommandations est la suivante : « Etat des connaissances sur les particules de l'air ambiant (effets sanitaires associés à la composition chimique, émissions du trafic routier) – saisine n°2014-SA-0156 ».

2. GESTION DES RISQUES DE CONFLITS D'INTERETS

La présidente vérifie que le quorum est atteint lors de l'adoption des travaux relatifs à « l'Etat des connaissances sur les particules de l'air ambiant » avec 17 experts sur 22 ne présentant pas de risque de conflit d'intérêt.

La présidente, après avoir vérifié en début de réunion que les experts n'ont pas de nouveaux liens d'intérêts à déclarer, précise que l'analyse préalable des liens déclarés n'a pas mis en évidence de risque de conflit au regard des points de l'ordre du jour mentionné ci-dessus.

3. SYNTHESE DES DEBATS, DETAIL ET EXPLICATION DES VOTES, Y COMPRIS LES POSITIONS DIVERGENTES POUR LES TRAVAUX « ETAT DES CONNAISSANCES SUR LES PARTICULES DE L'AIR AMBIANT EXTERIEUR »

3.1. Contexte

Les particules de l'air ambiant représentent un enjeu de santé publique, de nombreuses publications scientifiques montrant que l'exposition à court et long terme est associée à des effets délétères sur la santé. Durant ces deux dernières années, différentes revues confirment ces effets, notamment la revue REVIHAAP de l'OMS-Europe en 2013, et des études confirment et quantifient l'impact sanitaire des particules dans des villes européennes et françaises, notamment les résultats du projet Aphékom en 2012. Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a classé en 2012 les effluents d'échappement des moteurs Diesel comme cancérogènes pour l'Homme (groupe 1) et les effluents d'échappement des moteurs à essence comme possiblement cancérogènes pour l'Homme (groupe 2B). Puis, il a classé en 2013 la pollution de l'air extérieur dans son ensemble et les particules en suspension composant cette pollution comme agents cancérogènes pour l'Homme (groupe 1).

Selon l'inventaire national des émissions du Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA), les émissions primaires de particules par le trafic routier sont principalement liées au parc de véhicules particuliers Diesel. Les véhicules Diesel constituent aujourd'hui environ 60 % du parc français de véhicules légers et 72 % des ventes en 2011 contre 50 % des ventes en 2000.

Les concentrations de particules (PM10 et PM2,5) dans l'air restent stables depuis le milieu des années 2000 et supérieures aux valeurs guides recommandées par l'OMS.

Des interrogations subsistent quant aux effets sanitaires potentiellement associés à la composition de l'aérosol particulaire dont l'évolution au cours des dernières années est vraisemblable, ainsi qu'aux enjeux sanitaires spécifiques associés.

3.2. Questions posées

L'Anses a ainsi été saisie afin de conduire l'expertise suivante :

A) Demande A « Volet Santé »

- Existe-t-il des données concluantes sur les différences de toxicité selon la composition et/ou les sources de particules ?
- Le cas échéant, quelles conclusions peut-on tirer sur la toxicité des particules selon la composition et/ou les sources ?

B) Demande B « Volet Emissions »

- Définir l'évolution rétrospective et prospective des émissions de particules selon le parc roulant français et des cycles se rapprochant d'usage réel en considérant différents scénarios ;
- Identifier les impacts différenciés des technologies de dépollution sur les émissions de particules par la source « trafic routier ».

Ces éléments pourront être mis en regard avec les données d'émission disponibles concernant les autres sources de particules.

Enfin, il est demandé à l'Anses son avis quant à la transposition des conclusions émises en 2012 par le CIRC sur les effluents d'échappement des moteurs Diesel, aux émissions émises par les véhicules routiers à moteur Diesel circulant en France.

3.3. Observations et conclusions du CES « Air » lors de précédentes séances

Ces travaux ont fait l'objet de plusieurs présentations, pour débat et commentaires, en séances de CES avant l'adoption de ce jour. Les paragraphes ci-dessous reprennent les conclusions alors formulées lors de ces séances.

- Séance du 18 septembre 2014 :

Objectif : présenter cette nouvelle saisine et la méthode d'instruction proposée par l'Anses. Une représentante de la DGS est présente pour présenter les attentes de la DGS et répondre aux questions des experts, afin de préciser le cadre de l'expertise.

Conclusions :

Le CES recommande qu'une étude sur les éléments utiles à l'action et la gestion soit conduite. Considérant la littérature abondante, il est possible de travailler sur des rapports existants.

Le CES appuie une approche sociologique du sujet.

Le CES estime que certaines questions de la saisine méritent d'être reformulées.

En l'état, le CES ne valide pas le suivi et les modalités d'instruction présentées.

Une seconde présentation devant le CES sera donc prévue pour la prochaine séance. Dans cette optique, un travail de reformulation sera mené, cela étant en particulier possible dans le cadre de l'élaboration du contrat d'expertise entre l'Anses et ses tutelles suite à réception d'une saisine.

- Séance du 6 novembre 2014 :

Objectif : valider avec le CES les propositions de reformulation et de modalité de traitement pour tenir compte des observations faites le 18/09/2014.

Conclusions :

- Le CES valide la reformulation de la question A.
- Le CES valide la conservation de l'intitulé initial de la question B.
- Le CES valide la proposition faite par l'Anses pour traiter le questionnement relatif aux conclusions du CIRC sur les effluents diesel (production d'un AST). Il demande à ce que le travail réalisé lui soit présenté.
- Le CES accepte d'assurer le suivi d'instruction de cette saisine et valide la mise en place d'un groupe de travail.
- Le CES est d'accord pour qu'une motion soit rédigée pour demander en particulier à ce qu'un travail d'analyse des verrous à l'action politique qui ralentissent la lutte contre la pollution atmosphérique soit réalisé. Cette motion serait à adresser au Directeur général de l'Anses.
- 3 experts se portent volontaires pour candidater au GT à mettre en place.
- Une proposition de motion sera rédigée par l'Anses et soumise pour adoption au CES lors d'une séance ultérieure (décembre 2014 ou janvier 2015). Un expert se porte volontaire pour assurer une relecture du projet avant la soumission au CES.

- Séance du 26 novembre 2015 :

Objectif : présenter la méthodologie d'expertise et faire un point d'avancement.

Conclusions :

Le CES rappelle que l'Anses avait proposé de rédiger une motion sur les freins et les leviers d'actions pour la gestion de la pollution de l'air. Ce travail ne doit plus être retardé désormais.

Lors d'une précédente réunion, le CES avait insisté pour que les PM ne soient pas considérées uniquement en masse, mais également en nombre. La confiance dans les facteurs d'émission des PM en nombre est très faible.

- Séance du 14 avril 2016 :

Objectif : faire un point d'avancement sur les travaux d'expertise, particulièrement sur la partie « Santé ».

Conclusions :

Concernant les méthodes d'évaluation du poids de la preuve, il est prématuré pour le CES de se prononcer sur le choix d'une méthode. Le groupe de travail a prévu de réaliser un exercice pratique. Une présentation des travaux du groupe de travail MER pourrait apporter des éléments complémentaires.

Concernant les études épidémiologiques étrangères, le CES est favorable à leur prise en compte dans les travaux d'expertise.

Concernant l'intérêt de circonscrire davantage l'évaluation, le CES est favorable à la formulation de sous-questions.

Concernant l'élaboration des scénarios d'émissions, le CES est favorable à la construction d'un scénario « extrême » qui représenterait les niveaux particulaires atteignables en réduisant drastiquement les émissions particulaires du trafic que ce soit par report modal ou pas une évolution vers un parc 100 % électrique.

- Séance du 19 mai 2016 :

Objectif : présenter l'avancement des travaux, particulièrement les scénarios retenus.

Conclusions :

Concernant les scénarios d'émission, le CES souligne l'importance de la mise en œuvre de scénarios « ambitieux » et de considérer d'autres paramètres que les évolutions technologiques. Ces paramètres devraient être documentés aux mieux, en fonction des données disponibles, et l'acquisition de données complémentaires pour consolider ces scénarios pourra figurer dans les recommandations de recherche par exemple.

- Séance du 14 octobre 2016 :

Objectif : présenter un point d'avancement des travaux.

Conclusions :

Concernant la note d'AST relative aux émissions des Diesel : la réponse de l'Anses doit être factuelle avec une description des résultats de la monographie du CIRC et ne doit pas laisser supposer que les conclusions du CIRC devraient/pourraient être remises en cause.

La question de l'évolution des mélanges est pertinente, mais en l'absence de données complémentaires qui remettraient en cause les conclusions du CIRC, elles restent applicables aux nouveaux mélanges.

Le CES estime qu'il n'est pas pertinent de réaliser une évaluation des risques, il serait nécessaire de rappeler que les concentrations ont une influence sur le risque mais pas sur les dangers. La monographie du CIRC qui porte sur les dangers, ne peut être remise en cause sur la base des concentrations.

La réponse de l'Anses devrait être courte pour limiter les risques de remise en question de la part des industriels.

- Séance du 9 mars 2017 :

Objectif : présenter et échanger sur le projet de note « diesel ».

Conclusions :

Le document rédigé est salué par le CES ; sur la forme, la structure du document et le double niveau de lecture sont jugés pertinents.

Les commentaires formulés par les experts rapporteurs, dont certains ont été exposés, seront pris en compte.

- Séance du 29 juin 2017 :

Objectif : faire un point d'avancement sur la partie « Santé » et présenter les résultats de la partie « Emissions ».

Conclusions :

Le CES souligne l'intérêt de ces travaux. Il indique également l'importance de l'estimation de l'impact sanitaire. Considérant que ce point ne fait pas partie des demandes de la saisine, la réflexion sera approfondie en fonction de l'avancement des travaux dans le calendrier de l'expertise. *A minima* il sera intégré dans les perspectives.

- Séance du 3 octobre 2017 :

Objectif : présenter la saisine et son état d'avancement aux nouveaux membres du CES.

Conclusions :

La présentation de la saisine et des principaux résultats sur les scénarios d'émissions a suscité quelques demandes de précisions qui ont été apportées en séance.

Le CES a souligné l'importance de considérer les incertitudes des résultats.

- Séance du 11 janvier 2018 :

Objectif : présenter au CES l'état d'avancement des travaux du GT sur le volet « Santé », et plus particulièrement la synthèse des analyses des études d'expérimentation animale.

Conclusions :

Le CES souligne l'important travail réalisé par le GT et la robustesse de l'approche déployée. Une experte souligne qu'il conviendra dans le rapport d'expertise de bien expliciter et cadrer la méthode appliquée afin d'en faire saisir toute la plus-value et justifier le travail réalisé.

- Séance du 6 avril 2018 :

Objectif : présenter la synthèse des résultats du volet « Emissions » de l'expertise, ainsi que ses conclusions.

Conclusions :

Les commentaires du CES sur les conclusions du volet « Emissions » de l'expertise seront pris en compte et les conclusions seront présentées pour validation lors de la prochaine séance de CES, en vue de l'adoption finale des travaux au dernier trimestre 2018.

- Séance du 15 juin 2018 :

Objectif : passer en revue les conclusions et recommandations proposées pour la partie de l'expertise relative au volet « Emissions », et qui avaient été amendées suites aux premiers échanges tenus lors de la séance du 6 avril 2018.

Conclusions :

Modulo la prise en compte de l'ensemble des remarques et demandes formulées par le CES précédemment, le CES adopte les conclusions présentées par le GT et passées en revue ce jour.

Les modifications/demandes à considérer sont :

Concernant la partie « synthèse de l'expertise » :

- 1) les différentes fractions de véhicules diesel anciens (sans FAP) intégrées dans les scénarii « FAP » et « Essence » doivent être bien mises en évidence afin de faire ressortir que les différences d'émissions de particules ne sont pas dues uniquement aux différences de technologies, mais également à la proportion de véhicules diesel anciens (sans FAP) qui sont les véhicules les plus émissifs dans les différents scénarii.
- 2) le tableau de synthèse des scénarii doit être revu pour proposer au CES deux tableaux, l'un sur la base des émissions et l'autre sur la base des concentrations. Le tableau actuellement en annexe présentant la signification des flèches, doit être mis à la suite des tableaux de synthèse.

Concernant les conclusions passées en revue :

- 1) La problématique du coût associé à l'électrique (impact et cycle de vie des batteries) sera à mentionner dans la partie « Anses » (partie 4) de l'avis.
- 2) Les mentions relatives à la maîtrise du trafic, la promotion des TC, etc... sont également à faire apparaître dans les recommandations.
- 3) Concernant l'évolution des émissions réelles potentiellement moins favorable de celle attendue de l'évolution réglementaire, outre l'accent sur les procédures de contrôle, il pourrait également être mentionné l'acquisition et/ou l'évolution des connaissances.

- 4) Compte tenu des travaux du GT, la perspective de nouveaux indicateurs (particules en nombre-PUF) pourrait être utile à faire dans les recommandations.
- 5) Pour les recommandations à venir, les organiser de la façon dont cela est usuellement fait par le CES, en commençant par les recommandations d'action pour finir par celles relatives aux besoins de recherche.

Les recommandations relatives à ce volet « Emissions » de l'expertise seront passées en revue lors de la prochaine séance du CES, soit le 5 juillet 2018.

- Séance du 5 juillet 2018 :

Objectif : passer en revue les recommandations de la partie de l'expertise relative aux émissions.

Conclusions :

Les recommandations seront reprises par l'Anses et le groupe de travail, puis transmises par courriel au CES.

Un point rapide, pour validation sera fait au CES du 13 septembre 2018.

- Séance du 13 septembre 2018 :

Objectif : Valider les recommandations de la partie B « Emissions » de l'expertise.

Conclusions :

Les conclusions et recommandations de la saisine « physicochimie des particules – volet émissions » sont adoptées, suite à la présentation des modifications apportées suite aux échanges en amont du CES avec une experte.

- Séance du 5 octobre 2018 :

Objectif : faire un point d'avancement sur le volet « Effets sanitaires » de l'expertise.

Conclusions :

La présentation a suscité des demandes des précisions qui ont été apportées en séance.

- Séance du 23 novembre 2018 :

Objectif : présenter au CES les conclusions relatives au volet Santé de la saisine et discuter des éléments présentés.

Conclusions :

Le CES salue unanimement le travail réalisé par le GT et les efforts fournis pour proposer des présentations de résultats synthétiques, des conclusions claires.

Il souligne également que les travaux menés conduisent à identifier des résultats nouveaux qu'il convient de mettre en exergue.

Il attire l'attention sur la nécessité de ne pas « faire croire » avec les résultats de cette expertise à une remise en cause d'effets sur la santé de certaines substances (par ex. les HAP) qui sont par ailleurs bien démontrés et reconnus. A cet effet, il convient de retravailler le vocabulaire et la signalétique présentés notamment dans les tableaux projetés en séance.

Enfin, ce volet « santé » doit être « raccroché » au volet « émissions » déjà validé et adopté de cette même saisine. Les liens peuvent être simplement qualitatifs, mais il convient de ne pas laisser totalement disjoints les 2 volets d'instruction de la saisine.

- Séance du 18 décembre 2018 :

Objectif : passer en revue les conclusions et recommandations relatives au volet Santé (dit volet A) de la saisine, proposées par le GT (séance de GT du 6/12/18) et soumises à la validation du CES.

Conclusions :

Il est convenu que ce sujet fera l'objet d'un dernier passage devant le CES lors de la séance du 17 janvier 2019 afin de présenter les conclusions et recommandations amendées tenant compte des différents éléments énoncés en séance.

La partie relative aux enseignements tirés des parties A et B considérées ensemble est à supprimer suite au vote tenu en séance.

3.4. Objectif de la séance

L'objectif est de valider les conclusions et recommandations du CES, afin d'entériner l'adoption des travaux d'expertise.

3.5. Adoption des travaux

Considérant les demandes formulées dans la saisine n°2014-SA-0156, relative à « un état des connaissances sur les particules de l'air ambiant extérieur » :

A):Demande A « Volet Santé »

- Existe-t-il des données concluantes sur les différences de toxicité selon la composition et/ou les sources de particules ?
- Le cas échéant, quelles conclusions peut-on tirer sur la toxicité des particules selon la composition et/ou les sources ?

B) Demande B « Volet Emissions »

- définir l'évolution rétrospective et prospective des émissions de particules selon le parc roulant français et des cycles se rapprochant d'usage réel en considérant différents scénarios ;
- et identifier les impacts différenciés des technologies de dépollution sur les émissions de particules par la source « trafic routier ».
- Ces éléments pouvaient être mis en regard avec les données d'émission disponibles concernant les autres sources de particules.

Considérant l'organisation et la méthodologie d'expertise présentée et validée par le CES ainsi que les échanges et débats qui se sont tenus lors des séances des 14 septembre et 6 novembre 2014, 26 novembre 2015, 14 avril, 19 mai et 14 octobre 2016, 9 mars, 29 juin et 3 octobre 2017 et 11 janvier, 6 avril, 15 juin, 5 juillet, 13 septembre, 5 octobre, 23 novembre et 18 décembre 2018.

Considérant les principaux résultats apportés présentés au CES et synthétisés en annexe.

Le CES adopte, à l'unanimité des présents, les résultats de l'expertise relative à « un état des connaissances sur les particules de l'air ambiant extérieur » et formule les conclusions et recommandations ci-dessous.

Le paragraphe relatif au potentiel oxydant devra être relu et validé par deux membres du CES « Air ».

3.5.1. Conclusions du CES

3.5.1.1. Conclusions relatives aux effets sanitaires des particules selon leur composition, leur granulométrie et leur source (1^{er} volet d'expertise)

a) Préambule

En réponse au premier volet de la saisine, les preuves rapportées dans la revue REVIHAAP de l'OMS Europe (publiée en 2013) et les niveaux d'indications sanitaires obtenus à partir des études chez l'Homme publiées depuis, sont illustrés de manière synthétique sous forme de tableaux en Annexe 3 pour les composés, et en Annexe 4 pour les sources des particules de l'air ambiant extérieur.

Les conclusions générales présentées par la suite résultent d'une mise en perspectives des conclusions de la revue REVIHAAP (socle de connaissances de départ) avec les indications sanitaires obtenues sur la base des études publiées depuis REVIHAAP jusqu'en février 2016 (études humaines et études d'expérimentation animale). Les indications accumulées depuis REVIHAAP font référence aux niveaux d'indication d'effet sanitaire obtenus sur la base des études publiées depuis REVIHAAP jusqu'en février 2016 :

- Ces indications, si elles sont modérées ou fortes, viennent confirmer l'effet sanitaire d'un composé ou d'une source lorsque REVIHAAP évoquait déjà, en 2013, l'effet spécifique de ce composé ou de cette source.
- Ces indications sont considérées nouvelles et viennent étayer l'effet sanitaire d'un composé ou d'une source lorsque REVIHAAP n'évoquait pas d'effet spécifique.
- Ces indications, si elles sont inadéquates ou faibles, ne permettent pas de conclure fermement à un effet sanitaire ou ne font que suggérer cet effet ; elles sont le reflet d'une littérature émergente ne mettant pas en évidence d'associations, ou d'une littérature présentant un niveau de confiance¹ insuffisant pour conclure malgré des associations observées.
- Des indications inexistantes font référence à l'absence d'études publiées depuis REVIHAAP parmi celles sélectionnées et évaluées dans le cadre des présents travaux.
- Une indication d'absence d'effet sanitaire correspond à une littérature présentant un niveau de confiance élevé et ne mettant pas en évidence d'association entre un composé ou une source et une catégorie d'effets sanitaires.

Les conclusions générales portent spécifiquement sur les effets sanitaires des composés et sources des particules de l'air ambiant extérieur. Ces conclusions ne remettent pas en cause les preuves apportées par la littérature issue d'autres corpus sur la nocivité des substances ou sur les effets sur la santé des particules (notamment pour la silice, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les particules d'échappement des moteurs Diesel, les particules d'échappement des moteurs essence, les particules issues de sources industrielles spécifiques et les particules issues de la combustion de biomasse). Enfin, ces conclusions générales ne remettent pas en cause les preuves apportées par la littérature sur les effets sanitaires des PM_{2,5} et des PM₁₀ sans spéciation chimique ou répartition en sources.

b) Conclusions par composés des particules de l'air ambiant extérieur

➤ Particules ultrafines (<100 nm) et particules grossières (PM_{2,5-10})

En 2013, REVIHAAP concluait à un effet sanitaire seulement suggestif pour les particules grossières et à des preuves encore limitées pour les particules ultrafines. Les indications accumulées depuis REVIHAAP sont modérées et confirment l'effet sanitaire de ces fractions sur la base de corpus larges d'études humaines, présentant un bon niveau de confiance et examinant de nombreuses catégories d'effets. Pour les particules ultrafines, les indications accumulées depuis REVIHAAP sur la base d'études d'expérimentation animale confortent ce résultat. Les niveaux d'indications sanitaires les plus élevés chez l'Homme sont obtenus pour la santé respiratoire (particules grossières), la santé cardiovasculaire (particules ultrafines), et la mortalité toutes causes (particules grossières). Enfin, les nouvelles indications accumulées depuis REVIHAAP sont faibles et ne font que suggérer un effet à long terme des particules ultrafines sur la santé neurologique (développement des performances cognitives de l'enfant), en raison du corpus limité à une unique publication.

➤ Matières carbonées

En 2013, REVIHAAP concluait à des preuves suffisantes d'un effet sanitaire du carbone suie, et à des preuves croissantes pour le carbone organique. Les indications accumulées depuis REVIHAAP sont fortes et confirment l'effet sanitaire de ces composés sur la base de larges corpus d'études humaines, présentant un bon niveau de confiance et examinant de nombreuses catégories d'effets. Les indications accumulées depuis REVIHAAP sur la base des études d'expérimentation animale tendent à conforter un effet sanitaire des matières carbonées avec des niveaux d'indication qui sont faibles à modérés. Les niveaux d'indications sanitaires les plus élevés chez l'Homme sont obtenus pour la santé respiratoire, la santé cardiovasculaire, la mortalité toutes causes, et les hospitalisations toutes causes, tant sur le court terme que sur le long terme. Enfin, les nouvelles indications accumulées depuis REVIHAAP sont faibles et suggèrent un effet à long terme du carbone suie des particules de l'air ambiant sur la santé neurologique (développement des performances cognitives de l'enfant) et sur la santé périnatale (faible poids de naissance), deux catégories sanitaires non évoquées dans REVIHAAP.

En 2013, REVIHAAP n'examinait pas les effets sanitaires des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des particules de l'air ambiant extérieur et des aérosols organiques secondaires

¹ Niveau de confiance du corpus défini à partir de l'outil de cotation proposé par l'OHAT, Étape 6 Figure 1.

(AOS) en tant que facteur source². Dans le cas des AOS (facteur source), les nouvelles indications accumulées depuis REVIHAAP sont inadéquates et ne permettent pas de conclure fermement à un effet sanitaire, en raison d'une littérature émergente, de taille encore réduite, ne mettant pas en évidence d'associations ; de plus, l'hétérogénéité des facteurs sources définis dans les publications peut rendre difficile l'interprétation et la comparaison des résultats. Dans le cas des HAP, les nouvelles indications accumulées depuis REVIHAAP sont faibles et ne permettent pas de conclure fermement à un effet sanitaire, en raison du niveau de confiance insuffisant placé dans le corpus ; aussi, la grande diversité des HAP contenus dans les particules de l'air ambiant rend difficile la comparaison des résultats. Cependant, les HAP peuvent être associés au carbone suie et sont inclus dans le carbone organique mesurés dans l'air ambiant, pour lesquels les indications accumulées sont fortes. De plus, il existe une large littérature, non évaluée ici, sur la nocivité de certains HAP (exposition classée cancérogène par le CIRC).

➤ **Aérosols inorganiques secondaires**

En 2013, REVIHAAP rapportait des associations entre le sulfate et le nitrate, traceurs des aérosols inorganiques secondaires (AIS) dans l'air ambiant, et des événements néfastes pour la santé, mais ne concluait pas à un niveau de preuve en raison du manque d'indication sur le caractère direct et causal de l'association. Les indications accumulées depuis REVIHAAP sont fortes et confirment les effets sanitaires du sulfate et du nitrate d'après des corpus larges d'études humaines, présentant un bon niveau de confiance et examinant de nombreuses catégories d'effets. Sur la base des études d'expérimentation animale, les indications accumulées depuis REVIHAAP sont faibles concernant les effets du nitrate présent dans des échappements de moteurs Diesel et essence sur la santé cardiovasculaire – lésions d'athérosclérose et effet sur la numération de la formule sanguine. Les niveaux d'indications sanitaires les plus élevés chez l'Homme sont obtenus pour la santé respiratoire, la santé cardiovasculaire, et la mortalité toutes causes. De plus, les nouvelles indications accumulées depuis REVIHAAP sont modérées et suggèrent un effet à long terme du sulfate et du nitrate des particules de l'air ambiant sur la santé périnatale (faible poids de naissance), une catégorie sanitaire non évoquée dans REVIHAAP. Bien que l'évaluation réalisée dans les présents travaux prenne en compte de nombreux critères de causalité, il ne peut être exclu que les indications sanitaires obtenues reflètent la capacité des sulfates et nitrates à moduler la toxicité des particules dans leur ensemble ou le potentiel effet sanitaire de leurs sources communes (combustions), plutôt que leur toxicité intrinsèque.

En 2013, REVIHAAP n'évoquait pas les effets d'autres aérosols inorganiques secondaires, tels que l'ammonium, ou des AIS en tant que facteur source. Dans le cas des AIS (facteur source), les nouvelles indications accumulées depuis REVIHAAP sont faibles et ne permettent pas de conclure fermement à un effet sanitaire, en raison d'une littérature émergente, de taille réduite, ne présentant pas un niveau de confiance suffisant ; de plus, l'hétérogénéité des facteurs sources définis dans les publications rend difficile la comparaison des résultats. Dans le cas de l'ammonium, les nouvelles indications accumulées depuis REVIHAAP sont faibles et ne permettent pas de conclure fermement à un effet sanitaire, car le corpus ne présentait pas un niveau de confiance suffisant. Cependant, les niveaux d'ammonium sont généralement corrélés à ceux du sulfate et du nitrate, pour lesquelles les indications accumulées sont fortes.

➤ **Métaux de transition**

En 2013, REVIHAAP rapportait des associations entre certains métaux (nickel, zinc, vanadium ; en mélanges) et la santé. Les nouvelles indications accumulées depuis REVIHAAP, de modérées à fortes pour ces composés, viennent étayer les effets sanitaires du nickel, du zinc, du vanadium et du fer sur la base de larges corpus d'études humaines, présentant un bon niveau de confiance et examinant de nombreuses catégories d'effets. Les niveaux d'indications sanitaires les plus élevés sont obtenus pour la santé cardiovasculaire, la santé respiratoire (nickel et vanadium), et la mortalité toutes causes (fer). Cependant, il est difficile de distinguer les effets individuels des métaux de transition en raison de la forte corrélation des concentrations mesurées, liée à leurs sources communes : l'usure des freins et des pneus (fer, zinc et cuivre) et l'industrie ou la combustion (nickel, vanadium et fer). Ainsi, les indications sanitaires obtenues pour les métaux, considérés individuellement dans la démarche d'évaluation, peuvent tout à fait témoigner de l'effet sanitaire de leurs sources communes ou des métaux en mélange.

➤ **Autres composés chimiques des particules de l'air ambiant**

Aucune démarche d'évaluation du poids de la preuve n'a été mise en place pour les autres composés ou éléments (métalliques, inorganiques ou minéraux) des particules de l'air ambiant historiquement

² Facteur (regroupement de composés corrélés) obtenu par une méthode statistique de répartition des composés en catégories, représentant souvent les sources d'émissions ; par exemple, factorisation de matrice positive ou analyse en composante principale.

considérés comme moins souvent associés à des effets sur la santé dans les études épidémiologiques. Les études publiées depuis REVIHAAP, décrites au cours des travaux, rapportent néanmoins des associations entre la santé (respiratoire et cardiovasculaire) et le calcium, le potassium, le magnésium, le manganèse, le plomb et le chlorure. Certains de ces composés peuvent être associés à des sources (potassium : traceur de la combustion de biomasse), à des phénomènes (calcium : phénomène d'abrasion et émission des poussières liés aux chantiers, aux gravières et au travail ou à l'érosion des sols), ou à d'autres composés évalués individuellement.

➤ **Silice**

La revue REVIHAAP n'évoquait pas les effets sur la santé de la silice dans l'air ambiant extérieur. Les nouvelles indications accumulées depuis REVIHAAP sont modérées et viennent étayer les effets sanitaires de la silice contenue dans les particules de l'air ambiant, notamment sur la santé respiratoire et la mortalité toutes causes, sur la base d'un corpus large d'études humaines présentant un bon niveau de confiance et examinant de nombreuses catégories d'effets. Il existe par ailleurs une large littérature, non évaluée ici, sur la nocivité de la silice cristalline (exposition classée cancérogène par le CIRC).

➤ **Endotoxines**

La revue REVIHAAP n'évoquait pas les effets sur la santé des endotoxines dans l'air ambiant extérieur. Les nouvelles indications accumulées depuis REVIHAAP sont modérées et viennent étayer les effets sanitaires des endotoxines contenues dans les particules de l'air ambiant, notamment sur la santé cardiovasculaire, sur la base d'un corpus de petite taille mais présentant un bon niveau de confiance. Le manque de standardisation dans les protocoles de mesure et d'analyse des endotoxines, ainsi que la diversité des composés auxquels elles peuvent s'attacher, appellent à la prudence dans l'interprétation de ces conclusions. Cependant, il existe une large littérature, non évaluée ici, examinant la nocivité de l'exposition à de fortes concentrations d'endotoxines chez des travailleurs manipulant de la matière organique, tels que les égoutiers, les ouvriers des usines de tri et de traitement de déchets et les agriculteurs.

➤ **Potentiel oxydant des particules**

Le potentiel oxydant des particules n'est pas un composé en soi. Il s'agit d'un indicateur mesuré par des tests acellulaires quantifiant la capacité intrinsèque des particules à générer des espèces réactives de l'oxygène³. Le potentiel oxydant des particules est proposé depuis quelques années comme une métrique, autre que la masse ou la composition chimique des particules atmosphériques, pour évaluer leurs effets sanitaires.

En 2013, REVIHAAP ne faisait qu'évoquer le stress oxydant comme mécanisme potentiel de l'effet des particules sur la santé. Les nouvelles indications accumulées depuis REVIHAAP sont faibles et ne font que suggérer un effet du potentiel oxydant des particules sur la santé respiratoire et la santé cardiovasculaire, car la littérature est encore émergente (corpus de taille réduite) et ne présente pas un niveau de confiance suffisant pour permettre de conclure fermement. Sur la base des études d'expérimentation animale, les indications accumulées depuis REVIHAAP sont faibles et concernent les effets respiratoires et cardiovasculaires (infiltration inflammatoire respiratoire et inflammation systémique) du stress oxydant induit par l'inhalation de particules de l'air ambiant chez des souris. Il est à noter que la mesure du potentiel oxydant des particules est encore récente et plusieurs méthodes de mesure non standardisées existent, chacune sensible à des molécules ou des familles d'espèces chimiques qui peuvent être différentes. Cela peut expliquer en partie les limitations de taille et de confiance dans le corpus.

c) Conclusions par sources des particules de l'air ambiant extérieur

➤ **Trafic routier**

En 2013, la revue REVIHAAP concluait à des preuves suffisantes d'effets sur la santé du carbone suie (émis majoritairement par les véhicules Diesel dans la plupart des environnements urbains) et à des associations probables avec les PM_{2,5} liées au trafic routier et avec les poussières de route (incluant la matière crustale). Les nouvelles indications accumulées depuis REVIHAAP, de fortes à modérées selon le type d'émissions (ex : carbone suie lié au trafic, PM_{2,5} liées au trafic et poussières de route / matière crustale), confirment l'effet sanitaire de la source « trafic routier » dans son ensemble sur la base de corpus d'études humaines présentant un bon niveau de confiance et

³ *La capacité des particules à générer des ERO est impliquée, avec d'autres voies moléculaires et cellulaires, dans l'induction de stress oxydant dans les cellules cibles pulmonaires. Le stress oxydant est un mécanisme de la toxicité des particules. La capacité des particules à générer des ERO est également reliée à la composition et à la surface des particules.*

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

➤ **Combustion de charbon et de produits pétroliers**

En 2013, REVIHAAP rapportait des preuves solides de l'effet sur la santé de la combustion de charbon, en se basant notamment sur les preuves rapportées d'un effet du sulfate ; seules des associations mitigées étaient rapportées pour la combustion de produits pétroliers. Les indications accumulées depuis REVIHAAP confirment les effets sanitaires des particules de l'air ambiant issues de ces sources d'après des corpus larges d'études humaines, présentant un bon niveau de confiance et examinant plusieurs événements sanitaires. Les indications vont de fortes pour la combustion de charbon à modérées pour la combustion de produits pétroliers. Ces conclusions sont cohérentes avec les indications sanitaires obtenues pour certains composés évalués individuellement : le sulfate (traceur de la combustion de charbon), le nickel et le vanadium (traceurs de la combustion de produits pétroliers). Par ailleurs, il existe une large littérature, non évaluée ici, sur la nocivité des émissions issues de la combustion de charbon, notamment pour la combustion domestique (cuisine et chauffage) à l'intérieur des habitations dans des pays en voie de développement (exposition classée cancérogène par le CIRC).

➤ **Combustion de biomasse**

En 2013, REVIHAAP évoquait une association probable entre les émissions particulières de la combustion de biomasse et la santé, en se basant principalement sur des publications s'intéressant aux événements de santé durant des épisodes de feux de forêts. Les indications accumulées depuis REVIHAAP sont inadéquates et ne permettent pas de conclure fermement à un effet sanitaire des particules issues de la combustion de biomasse dans l'air ambiant extérieur, en raison d'un corpus de taille réduite rapportant des résultats peu concluants. Le corpus évalué est vraisemblablement restreint en raison des critères de sélection des études utilisés favorisant l'inclusion des publications utilisant des méthodes statistiques de répartition des sources. Néanmoins, de nombreuses associations entre la santé et le potassium, traceur de la combustion de biomasse, ont été rapportées dans les études publiées depuis REVIHAAP. Par ailleurs, il existe une large littérature, non évaluée ici, sur la nocivité des émissions issues de la combustion de biomasse, notamment pour la combustion domestique (cuisine et chauffage) à l'intérieur des habitations dans des pays en voie de développement (exposition classée cancérogène par le CIRC).

➤ **Industrie**

En 2013, REVIHAAP rapportait des associations entre la catégorie de sources « industrie » et la santé, mais ne concluait pas fermement à un niveau de preuve en raison de l'hétérogénéité de cette catégorie, pouvant inclure une source dominante, un mélange de sources, ou diverses sources de combustion. Les indications accumulées depuis REVIHAAP, d'inadéquates à faibles selon le type d'industrie, ne permettent pas de conclure fermement à un effet sanitaire des émissions particulières de sources industrielles, en raison de corpus d'études présentant un niveau de confiance insuffisant ou rapportant des résultats peu concluants. De plus, l'hétérogénéité des définitions de la source « industrie » dans les différentes publications évaluées rend difficile l'interprétation et la comparaison des résultats. Néanmoins, les potentiels effets sanitaires de cette catégorie de sources sont cohérents avec les indications obtenues pour la combustion de charbon et de produits pétroliers ainsi que pour certains métaux évalués individuellement (nickel et vanadium). Par ailleurs, il existe une large littérature, non évaluée ici, sur les effets néfastes pour la santé humaine de contaminations environnementales par des sites industriels (ex : OMS Europe, 2014).

➤ **Sites de déchets dangereux**

En 2013, REVIHAAP évoquait deux publications ne rapportant pas d'association claire entre la proximité résidentielle à des sites de stockage de déchets dangereux et la santé périnatale. Les indications accumulées depuis REVIHAAP sont inadéquates et ne permettent pas de conclure fermement à un effet sanitaire de cette catégorie de source, en raison d'un corpus composé d'une unique publication rapportant de résultats peu concluants pour de nombreux événements de santé. Le corpus évalué est vraisemblablement réduit en raison des critères de sélection des études favorisant les publications utilisant des méthodes statistiques de répartition des sources.

➤ **Agriculture**

En 2013, REVIHAAP n'évoquait pas les effets sanitaires des particules de l'air ambiant extérieur issues de l'agriculture. Les nouvelles indications accumulées depuis REVIHAAP sont inexistantes (études chez l'Homme) ou inadéquates (études d'expérimentation animale), ce qui ne permet pas de conclure sur un effet sanitaire des particules issues de cette catégorie de source. Le corpus évalué est vraisemblablement réduit en raison des critères de sélection des études favorisant les publications utilisant des méthodes statistiques de répartition des sources (dans ces publications, l'application de ces méthodes n'identifiait pas de source agricole). Par ailleurs, il existe une large littérature, non évaluée ici, examinant les effets sur la santé de l'exposition professionnelle aux pesticides.

➤ **Poussières de désert**

En 2013, REVIHAAP évoquait une hausse d'événements sanitaires néfastes pendant des épisodes de poussières désertiques. Les indications accumulées depuis REVIHAAP sont modérées et confirment l'effet sanitaire des poussières de désert, notamment sur la santé respiratoire de l'enfant, sur la base d'un corpus de taille réduite mais présentant un bon niveau de confiance.

➤ **Sels et embruns marins**

En 2013, REVIHAAP rapportait des associations mitigées entre les sels et embruns marins et la santé et suggérait même une absence d'effet sanitaire. Les indications accumulées depuis REVIHAAP ne permettent pas de conclure à un effet sanitaire des sels et embruns marins, ce qui soutiendrait l'indication d'absence d'effet sur la santé, sur la base d'un corpus large d'études humaines.

3.5.1.2. Conclusions relatives à l'impact sur la pollution atmosphérique des technologies et de la composition du parc de véhicules automobiles circulant en France (2ème volet d'expertise)

Avertissement : Toute comparaison de ces travaux avec des études d'impacts de politiques publiques (mise en place de zones de circulation restreinte, annonce de restriction ou interdiction des véhicules thermiques, etc.) est à éviter. En effet, les scénarios simulés dans la présente expertise comparent différentes hypothèses technologiques (voire de réduction du trafic) dans un contexte constant. Ils n'intègrent pas d'évolution démographique, ni d'évolution des comportements en matière de mobilité, ni d'évolution des émissions en dehors de celles du trafic automobile ou d'évolution du contexte économique. Ils permettent une étude de sensibilité de la pollution de l'air à différentes évolutions technologiques du parc automobile roulant, et ne sont pas une étude prospective de la pollution de l'air en lien avec des politiques publiques.

En réponse à ce second volet relatif aux émissions de la source « trafic routier », les impacts des scénarios prospectifs variant en composition technologique du parc automobile roulant (motorisations, systèmes de dépollution) sont illustrés de manière synthétique sous forme de tableaux en Annexe 5 (impact sur les émissions en T/an) et en Annexe 6 (impact sur les concentrations atmosphériques en $\mu\text{g}/\text{m}^3$), pour les principaux polluants particulaires et gazeux.

Les conclusions sont présentées ci-après en distinguant :

- d'une part, ce qui relève des résultats strictement issus des simulations et de leur analyse ;
- et d'autre part, ce qui relève de la mise en perspective de ces résultats dans un contexte plus général où les évolutions et les enjeux ne se limitent pas à l'impact des technologies automobiles sur la pollution de l'air (texte décalé en italique).

➤ **Importance du trafic et des différentes catégories de véhicules**

Le trafic routier est le principal émetteur de certains polluants comme le carbone suie (BC), la matière organique (OM) et les oxydes d'azote (NOx) en zone urbaine. Il produit également une part importante des PM_{2,5} et PM₁₀ et de leurs précurseurs gazeux et contribue de ce fait assez fortement à la pollution urbaine. Les voitures particulières sont prédominantes, mais chacune des autres catégories de véhicules peut s'avérer importante en regard de certains polluants.

➤ **Baisse des émissions**

La simulation des émissions et concentrations de polluants sur l'Île-de-France et la France, à l'horizon 2025 et selon le scénario « quasi au fil de l'eau » (scénario S1), montre que les émissions du trafic décroissent fortement (-30% à -60%), du fait de l'évolution de la réglementation en émissions (normes Euro), de l'amélioration des technologies de dépollution – notamment la quasi-généralisation du filtre à particules sur les véhicules Diesel – et du renouvellement progressif du parc.

Le scénario S2 de promotion des motorisations essence (56% du trafic des véhicules légers contre 27% dans la situation de référence et le scénario FAP (S1)) se traduirait par un renouvellement accéléré du parc automobile et des réductions supplémentaires d'émission de particules et de NOx, mais aussi par une réduction moindre des rejets de COV et NH₃.

➤ **Baisse des concentrations**

À contexte constant (démographie, trafic routier, émissions des autres secteurs que le transport), ces réductions d'émissions du trafic se traduisent par :

- une baisse des concentrations moyennes annuelles (importante pour BC et NO₂) ;
- une diminution des nombres d'épisodes de concentrations élevées (sauf pour l'ozone O₃ en urbain), sans toutefois permettre d'atteindre le respect des valeurs guides annuelles de l'OMS pour les PM_{2,5} ;
- une augmentation possible mais limitée d'O₃ en zones urbaines.

En contexte éolutif réel, cette amélioration de la qualité de l'air serait cependant atténuée par l'augmentation du trafic et d'autres activités polluantes en zone urbaine ou périurbaine, en lien avec l'urbanisation, si de nouveaux types de mobilité ne sont pas favorisés (autopartage, covoiturage, modes actifs...) en complément du renforcement des réseaux de transport en commun. A l'inverse, elle pourrait être amplifiée par une baisse des émissions des autres secteurs d'activités (chauffage, industrie, etc.) qui font également l'objet d'améliorations techniques et par différentes mesures ou politiques locales en faveur de la qualité de l'air, ainsi que par la diminution des imports de pollution dès lors que le contexte global est favorable à la réduction des émissions anthropiques. Ces différents aspects ainsi que l'évolution du climat et de la démographie n'ont pas été pris en compte dans ce cadre et doivent être considérés.

L'évolution technologique sans modification du trafic, risque donc bien d'être insuffisante pour améliorer durablement la qualité de l'air dans les agglomérations.

Il est à noter que les améliorations plus limitées observées pour les concentrations de PM_{2,5} et PM₁₀ sont liées :

- à la contribution élevée d'autres secteurs (combustion pour le chauffage et agriculture en Île-de-France). Des politiques coordonnées en faveur de la qualité de l'air doivent donc être privilégiées ;
- au maintien des émissions du trafic par abrasion (pneus, freins, chaussée). Ces dernières pourraient diminuer grâce à l'amélioration des systèmes de freinage et à l'évolution réglementaire ;
- à l'augmentation des concentrations d'oxydants en zone urbaine qui favorisent la formation de particules secondaires.

➤ **Scénarios technologiques et autres leviers de réduction de la pollution du trafic**

Entre l'évolution « au fil de l'eau » avec généralisation du filtre à particules (scénario S1) et le scénario marquant un recul des véhicules légers Diesel au profit des véhicules essence (scénario S2), les écarts seraient finalement assez limités au regard de ceux observés entre 2014 et 2025.

Un avantage faible (et de ce fait incertain) serait observé avec le scénario Essence (S2) en ce qui concerne la pollution particulaire et les concentrations de NO₂ et ce pour différentes raisons :

- d'une part, pour les particules, cet avantage est en partie dû à une plus forte baisse des précurseurs gazeux dont le NO₂, et cela malgré une augmentation des concentrations d'O₃ en urbain ;
- d'autre part, une partie des bénéfices du scénario Essence (S2) en comparaison du scénario FAP (S1) est liée au renouvellement accéléré du parc (qui se traduit par une proportion plus faible de véhicules légers Diesel sans FAP et une proportion plus forte de véhicules récents Euro 5 et 6), en raison de l'évolution forte de la répartition essence – Diesel sur une période relativement courte.

Indépendamment des options technologiques, le renouvellement « accéléré » du parc (par différentes incitations, mesures de restriction, etc.) apparaît donc comme un levier potentiel d'amélioration de la qualité de l'air en complément de l'amélioration technologique des véhicules et de l'évolution réglementaire. Les effets secondaires du renouvellement doivent cependant être considérés (surcoûts économiques et environnementaux de la construction et destruction de véhicules, utilisation accrue des véhicules récents, iniquités éventuelles des mesures incitatives et raréfaction des véhicules d'occasion, etc.).

Mais les simulations des émissions avec les scénarios « Technologies Alternatives » et « Ambition Air » révèlent surtout le potentiel de la promotion de motorisations non polluantes (électriques) et plus encore d'une diminution ambitieuse du trafic en zones denses, contribuant d'une part à une réduction supplémentaire des émissions et anticipant d'autre part une réduction de l'exposition des personnes et de la pollution de proximité.

Les options technologiques, de même que le renouvellement accéléré du parc, doivent ainsi être mises en regard avec d'autres mesures comme la maîtrise du trafic (zones à faibles émissions, péages urbains, etc.), la promotion des transports en commun, des modes actifs, de l'autopartage, du covoiturage et des logistiques marchandises (e-commerce, livraison du dernier kilomètre, plates-formes logistiques urbaines), porteuses de bénéfices pour la qualité de l'air par la réduction éventuelle de la contribution du trafic routier. L'efficacité réelle de ces différentes mesures reste cependant à évaluer.

Les orientations et mesures visant à améliorer la qualité de l'air en France dans les domaines du transport routier et de la mobilité (plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques, Assises nationales de la mobilité) et les lignes directrices pour le développement de « systèmes de transports durables » (travaux internationaux OCDE, CEE-ONU, OMS-Europe) peuvent constituer un cadre intéressant d'analyse.

Les mesures d'amélioration de la qualité de l'air peuvent être sources de co-bénéfices tels que la réduction des nuisances sonores ou de la durée des trajets domicile-travail. Plus généralement, les mesures spécifiques aux mobilités doivent s'inscrire dans une gouvernance plus large de la ville, intégrant l'urbanisme, les transports, la santé et la qualité de l'air, de l'environnement et du cadre de vie.

L'évaluation objective de l'efficacité des mesures reste cependant très complexe, à ce jour insuffisamment documentée, et nécessite de dépasser le cadre strict de la pollution atmosphérique. Ainsi, les motorisations électriques, l'hydrogène, etc., qui peuvent être des solutions efficaces pour réduire la pollution locale et les émissions de gaz à effet de serre sous certaines conditions, doivent être évaluées en tenant compte d'implications multiples (disponibilité et sources de l'énergie, matériaux, impacts environnementaux induits, etc.). Le transport « tout-électrique » à l'horizon 2025 ou même 2040 apparaîtrait alors sans doute assez peu réaliste.

➤ Évolutions des enjeux

Les travaux ont montré l'importance du trafic dans la pollution urbaine. Plusieurs évolutions peuvent être anticipées et sont discutées ci-dessous.

L'urbanisation et le développement des zones péri-urbaines (même sans extension urbaine) contribuent à l'augmentation des besoins de mobilité et à la dépendance automobile. La maîtrise du trafic, la promotion des transports en commun et des modes actifs et le covoiturage domicile-travail semblent indispensables pour contenir les augmentations d'émissions qui peuvent en résulter.

Le développement d'une logistique urbaine reposant sur les véhicules utilitaires légers (au détriment des véhicules lourds) pourrait accroître considérablement le trafic et les émissions de polluants. Leur contribution déjà forte aux émissions de polluants devrait cependant s'atténuer par le rattrapage réglementaire (exigences plus proches de celles des voitures) et par le renouvellement assez rapide du parc de véhicules professionnels. Une moindre diésélisation et une évolution vers le gaz naturel pour véhicules sont également attendues.

Finalement, en raison du transfert important de véhicules utilitaires légers d'occasion vers le parc des voitures, les politiques incitatives sur les véhicules utilitaires légers peuvent s'avérer stratégiques quant à l'évolution globale du parc.

Le trafic des deux-roues motorisés augmente déjà considérablement dans certaines agglomérations congestionnées. Leur contribution élevée aux émissions de COV devrait décroître avec l'évolution réglementaire et la promotion de deux-roues électriques.

*La baisse des émissions réelles du trafic routier est généralement plus faible que celle attendue avec l'évolution réglementaire, réduisant ainsi l'amélioration de la qualité de l'air. L'attention au respect des procédures d'homologation et de contrôle, suscitée par les scandales récents, semble devoir limiter ce risque pour l'avenir. Le démontage ou la désactivation des systèmes dépolluants, ou encore leur dysfonctionnement et la dégradation des émissions avec l'âge du véhicule, devraient également décroître par la sophistication des technologies de dépollution des véhicules et le renforcement du volet pollution du contrôle technique. De nouvelles techniques de mesure des émissions (systèmes portatifs embarqués PEMS, mesures *in situ*), d'identification des véhicules et d'encouragement à l'éco-conduite (vignettes Crit'Air, vignettes connectées) devraient contribuer également à améliorer la connaissance et la maîtrise des émissions du trafic.*

De nouvelles formes de mobilité (autopartage, co-voiturage, véhicules autonomes) et de logistiques marchandises (e-commerce, livraison du dernier kilomètre, plates-formes logistiques urbaines) devraient impacter le trafic, les parcs automobiles et les émissions de polluants, sans qu'il soit possible à ce jour d'en évaluer l'ampleur.

Concernant les émissions particulières à l'échappement des dernières technologies automobiles mises sur le marché, l'écart est à présent faible entre les quantités de carbone suie émises par un véhicule Diesel et celles émises par un véhicule essence. Néanmoins, la question de la différence en émissions de gaz précurseurs d'aérosols secondaires organiques (COSV) et inorganiques (NO₂, NH₃, etc.) est encore ouverte.

Concernant les émissions particulières hors échappement des technologies automobiles, ces dernières pourraient diminuer grâce à l'amélioration des technologies et à l'évolution réglementaire, mais elles restent essentiellement liées aux volumes de trafic et non aux technologies. La substitution de véhicules à moteurs thermiques par des véhicules équivalents à motorisation électrique ou hybride plus lourds ne garantirait pas une diminution des émissions hors échappement de PM_{2,5} et PM₁₀ car leur poids plus élevé accentuerait les émissions de particules liées au contact pneu – chaussée et à la remise en suspension (Victor et al, 2016).

➤ **Incertitudes et limites**

Les travaux présentés sont porteurs d'incertitudes (émissions, technologies de dépollution récentes, précurseurs des particules secondaires, distribution spatio-temporelle du trafic et des autres sources polluantes, etc.). Les évolutions prospectives sont par nature incertaines, en raison de la fragilité de certaines hypothèses des scénarios, et ne tiennent pas compte de nombreux aspects (évolution de la population, des comportements et modes de vie, etc.). Les résultats ne présagent pas de l'importance de sources de pollution locales. Ils offrent toutefois un cadre d'analyse de l'évolution de la qualité de l'air permettant d'identifier des enjeux et de comparer différents scénarios par l'explicitation des mécanismes de la pollution.

La disponibilité de données et d'observations de grande qualité (mobilités, trafic, connaissance des émissions, etc.) est fondamentale dans ce processus.

3.5.2. Recommandations du CES

Les recommandations qui suivent concernent respectivement les deux volets de la saisine et sont proposées selon deux champs :

- Le champ des politiques publiques ;
- Et celui des travaux de recherche et d'évaluation pour l'aide à la décision.

3.5.2.1. Recommandations relatives aux effets sanitaires des particules de l'air ambiant extérieur selon les composés, les sources et la granulométrie

1/ En matière de politiques publiques :

i) Concernant les composés des particules de l'air ambiant extérieur :

Au regard des indications d'effets néfastes sur la santé mises en évidence pour les composés particulaires mentionnés ci-dessous, le GT et le CES recommandent, dans le cadre des politiques de surveillance de la qualité de l'air ambiant et de réduction des émissions de polluants atmosphériques, de considérer prioritairement :

- les particules ultrafines (< 100 nm, concentration en nombre),
- le carbone suie,
- et le carbone organique.

Les particules grossières (PM_{2,5-10}), pour lesquelles il existe des indications d'effets sur la santé, sont déjà indirectement prises en compte dans la mesure déjà réglementée de la masse des PM₁₀ et des PM_{2,5}. Ces recommandations ne remettent pas en cause la pertinence de la mesure des PM_{2,5} et des PM₁₀ dans les dispositifs actuels.

Ces recommandations sur les particules ultrafines et le carbone suie renforcent celles émises sur la nécessité de compléter et de pérenniser l'acquisition de données relatives à ces deux indicateurs, dans le cadre des travaux de l'agence sur les polluants émergents dans l'air ambiant (Anses, 2018).

ii) Concernant les sources des particules de l'air ambiant extérieur :

Au regard des indications d'effets néfastes sur la santé mises en évidence pour les sources mentionnées ci-dessous, le GT et le CES recommandent de poursuivre les efforts nationaux et internationaux de réduction de la pollution de l'air ambiant extérieur et de l'exposition des populations en lien avec celles-ci :

- le trafic routier (incluant les émissions à l'échappement et les émissions hors échappement),
- la combustion de charbon,
- la combustion de produits pétroliers,
- la combustion de biomasse,
- et les poussières de désert.

Concernant la pollution particulaire issue du trafic routier, le GT et le CES soulignent l'intérêt de poursuivre les efforts de réduction de l'exposition des populations au carbone suie, à la matière organique et aux particules ultrafines émis dans l'air ambiant extérieur, considérant :

- d'une part, les résultats de l'expertise collective mettant en évidence des indications fortes d'effets néfastes sur la santé liée à l'exposition au carbone suie des particules issues du trafic routier, au carbone organique et aux particules ultrafines,
- et d'autre part, les résultats de l'expertise collective mettant en évidence des diminutions des émissions et concentrations atmosphériques de carbone suie, de matière organique et de particules ultrafines issues du trafic routier, obtenues par l'évolution de la réglementation en émissions (normes Euro), par l'amélioration des technologies de dépollution – notamment la quasi-généralisation du filtre à particules sur les véhicules Diesel – et par le renouvellement progressif du parc, sur la base des scénarios simulés de 2014 à l'horizon 2025.

Concernant la pollution particulaire par l'industrie en général, il n'a pas été possible de conclure fermement sur les effets sanitaires pour cette catégorie de sources en raison de l'hétérogénéité des sources d'émission, de la qualité insuffisante du corpus d'études analysées ou des résultats peu concluants. Néanmoins, le GT et le CES soulignent que cette difficulté ne remet pas en cause les preuves accumulées à partir d'autres corpus de la littérature sur les effets néfastes pour la santé humaine de contaminations environnementales par des sites industriels (ex : OMS Europe, 2014), de même qu'elle ne remet pas en cause la surveillance et le contrôle des émissions de sources industrielles.

Enfin, en raison d'un manque de données, d'autres sources n'ont pu être évaluées dans le cadre de la présente revue de la littérature scientifique : agriculture, transport maritime, pollution aéroportuaire, sources naturelles telles que pollens et débris végétaux, érosion éolienne, éruptions volcaniques et émissions de composés organiques volatils biogéniques par les végétations (précurseurs d'aérosols organiques secondaires).

2/ En matière de travaux d'évaluation pour l'aide à la décision et de travaux de recherche :

Afin de permettre d'éventuelles évaluations des risques sanitaires ou évaluations d'impact sanitaire de la pollution de l'air ambiant extérieur, le GT et le CES recommandent de dériver, ou produire au

besoin, des fonctions exposition-risque pour les polluants particulaires suivants afin d'inclure ces polluants dans les évaluations :

- les particules ultrafines (< 100 nm, concentration en nombre),
- le carbone suie,
- et le carbone organique.

En termes d'amélioration des connaissances, le GT et le CES recommandent de poursuivre les efforts de la recherche sur :

- les effets sur la santé de l'exposition aux particules de l'air ambiant extérieur en incluant des métriques d'exposition autres que la masse des PM₁₀ et PM_{2,5}, en vue d'élaborer d'autres indicateurs de référence (fonctions exposition-risque, normes de qualité de l'air ambiant, etc.) pour la pollution particulaire,
- une définition métrologique des aérosols organiques secondaires en vue, si possible, d'une harmonisation et d'une standardisation de cette métrique d'exposition,
- le caractère prédictif du potentiel oxydant des particules de l'air ambiant extérieur en termes d'effets sur la santé, ainsi que sur la définition de cet indicateur actuellement mesuré par différents tests en condition accellulaire, en vue, si possible, d'une harmonisation et d'une standardisation de cette métrique d'exposition,
- les effets sur la santé des endotoxines de l'air ambiant extérieur,
- les effets sur la santé de la pollution de l'air ambiant extérieur par certaines sources anthropiques encore peu documentées telles que l'agriculture, le transport maritime et la pollution aéroportuaire.

3.5.2.2. Recommandations relatives à l'impact sur la pollution atmosphérique des technologies et de la composition du parc de véhicules automobiles circulant en France

1/ En matière de politiques publiques :

- iii) Concernant les composés des particules de l'air ambiant extérieur :

Au regard des indications d'effets néfastes sur la santé mises en évidence pour les composés particulaires mentionnés ci-dessous, le GT et le CES recommandent, dans le cadre des politiques de surveillance de la qualité de l'air ambiant et de réduction des émissions de polluants atmosphériques, de les considérer prioritairement :

- les particules ultrafines (< 100 nm, concentration en nombre),
- le carbone suie,
- et le carbone organique.

Les particules grossières (PM_{2,5-10}), pour lesquelles il existe des indications d'effets sur la santé, sont déjà indirectement prises en compte dans la mesure déjà réglementée de la masse des PM₁₀ et des PM_{2,5}. Ces recommandations ne remettent pas en cause la pertinence de la mesure des PM_{2,5} et des PM₁₀ dans les dispositifs actuels.

Ces recommandations sur les particules ultrafines et le carbone suie renforcent celles émises sur la nécessité de compléter et de pérenniser l'acquisition de données relatives à ces deux indicateurs, dans le cadre des travaux de l'agence sur les polluants émergents dans l'air ambiant (Anses, 2018).

- iv) Concernant les sources des particules de l'air ambiant extérieur :

Au regard des indications d'effets néfastes sur la santé mises en évidence pour les sources mentionnées ci-dessous, le GT et le CES recommandent de poursuivre les efforts nationaux et internationaux de réduction de la pollution de l'air ambiant extérieur et de l'exposition des populations en lien avec celles-ci :

- le trafic routier (incluant les émissions à l'échappement et les émissions hors échappement),
- la combustion de charbon,
- la combustion de produits pétroliers,
- la combustion de biomasse,
- et les poussières de désert.

Concernant la pollution particulaire issue du trafic routier, le GT et le CES soulignent l'intérêt de poursuivre les efforts de réduction de l'exposition des populations au carbone suie, à la matière organique et aux particules ultrafines émis dans l'air ambiant extérieur, considérant :

- d'une part, les résultats de l'expertise collective mettant en évidence des indications fortes d'effets néfastes sur la santé liée à l'exposition au carbone suie des particules issues du trafic routier, au carbone organique et aux particules ultrafines,
- et d'autre part, les résultats de l'expertise collective mettant en évidence des diminutions des émissions et concentrations atmosphériques de carbone suie, de matière organique et de particules ultrafines issues du trafic routier, obtenues par l'évolution de la réglementation en émissions (normes Euro), par l'amélioration des technologies de dépollution – notamment la quasi-généralisation du filtre à particules sur les véhicules Diesel – et par le renouvellement progressif du parc, sur la base des scénarios simulés de 2014 à l'horizon 2025.

Concernant la pollution particulaire par l'industrie en général, il n'a pas été possible de conclure fermement sur les effets sanitaires pour cette catégorie de sources en raison de l'hétérogénéité des sources d'émission, de la qualité insuffisante du corpus d'études analysées ou des résultats peu concluants. Néanmoins, le GT et le CES soulignent que cette difficulté ne remet pas en cause les preuves accumulées à partir d'autres corpus de la littérature sur les effets néfastes pour la santé humaine de contaminations environnementales par des sites industriels (ex : OMS Europe, 2014), de même qu'elle ne remet pas en cause la surveillance et le contrôle des émissions de sources industrielles.

Enfin, en raison d'un manque de données, d'autres sources n'ont pu être évaluées dans le cadre de la présente revue de la littérature scientifique : agriculture, transport maritime, pollution aéroportuaire, sources naturelles telles que pollens et débris végétaux, érosion éolienne, éruptions volcaniques et émissions de composés organiques volatils biogéniques par les végétations (précurseurs d'aérosols organiques secondaires).

2/ En matière de travaux d'évaluation pour l'aide à la décision et de travaux de recherche :

Afin de permettre d'éventuelles évaluations des risques sanitaires ou évaluations d'impact sanitaire de la pollution de l'air ambiant extérieur, le GT et le CES recommandent de dériver, ou produire au besoin, des fonctions exposition-risque pour les polluants particulaires suivants afin d'inclure ces polluants dans les évaluations :

- les particules ultrafines (< 100 nm, concentration en nombre),
- le carbone suie,
- et le carbone organique.

En termes d'amélioration des connaissances, le GT et le CES recommandent de poursuivre les efforts de la recherche sur :

- les effets sur la santé de l'exposition aux particules de l'air ambiant extérieur en incluant des métriques d'exposition autres que la masse des PM₁₀ et PM_{2,5}, en vue d'élaborer d'autres indicateurs de référence (fonctions exposition-risque, normes de qualité de l'air ambiant, etc.) pour la pollution particulaire,
- une définition métrologique des aérosols organiques secondaires en vue, si possible, d'une harmonisation et d'une standardisation de cette métrique d'exposition,
- le caractère prédictif du potentiel oxydant des particules de l'air ambiant extérieur en termes d'effets sur la santé, ainsi que sur la définition de cet indicateur actuellement mesuré par différents tests en condition accellulaire, en vue, si possible, d'une harmonisation et d'une standardisation de cette métrique d'exposition,
- les effets sur la santé des endotoxines de l'air ambiant extérieur,
- les effets sur la santé de la pollution de l'air ambiant extérieur par certaines sources anthropiques encore peu documentées telles que l'agriculture, le transport maritime et la pollution aéroportuaire.

Jeudi 4 avril 2019

Rachel Nadif
Présidente du CES « Evaluation des risques liés aux milieux aériens »