



Emissions de particules et de NOx par les véhicules routiers

Contenu

Enjeux.....	1
Description et chiffres clés.....	2
Réduction des émissions de polluants.....	3
Actions de l'ADEME.....	5
L'Avis de l'ADEME.....	6

Enjeux

En octobre 2013, l'Organisation mondiale de la santé a classé la pollution de l'air extérieur comme cancérigène certain pour l'homme. Les polluants atmosphériques, et en particulier les particules, représentent un enjeu sanitaire majeur.

En France, il est estimé que l'exposition aux particules fines (PM_{2,5}) réduit l'espérance de vie de 8,2 mois¹ et est à l'origine de 42 000 morts prématurées chaque année. Les dernières données scientifiques renforcent encore le lien entre la pollution de l'air extérieur et des pathologies respiratoires et cardiovasculaires et mettent en évidence des effets sur la reproduction, le développement fœtal ou neurologique.

D'autres polluants de l'air extérieur, comme le dioxyde d'azote (NO₂) et l'ozone (O₃) s'avèrent également toxiques pour l'homme (atteintes notamment respiratoires) et ont des effets néfastes sur les écosystèmes. Le NO₂, en plus de conduire à la formation d'ozone et de particules secondaires, est irritant pour les voies respiratoires.

La pollution de l'air a également un impact économique : les coûts de santé de la pollution atmosphérique pris dans leur ensemble représentent chaque année entre 20 et 30 milliards d'euros en France, dont 0,8 à 1,7 milliard d'euros supportés directement par le système de soin².

C'est pourquoi les directives européennes de qualité de l'air ont fixé des valeurs limites admissibles dans l'air

ambiant pour les particules³ PM₁₀ et PM_{2,5} ainsi que pour le NO₂⁴. Pour la Commission européenne⁵, ces valeurs limites sont une première étape et devront progressivement être alignées sur les normes de l'OMS. Dans certaines zones urbaines françaises, et particulièrement à proximité du trafic routier, ces valeurs limites sont régulièrement dépassées. Depuis le 1^{er} janvier 2014, la France est poursuivie par la Commission européenne pour non-respect des valeurs limites de PM₁₀ et non mise en place de plan d'actions dans 11 zones, couvrant notamment 11 agglomérations de plus de 100 000 habitants. Elle pourrait également être prochainement poursuivie pour non-respect des valeurs limites pour le dioxyde d'azote dans 24 zones.

Des plafonds d'émissions nationaux sont également imposés par la Directive NEC⁶ pour plusieurs polluants dont les oxydes d'azote⁷ (NOx). La France ne respecte pas ce plafond depuis 2010 pour les NOx.

Le trafic routier est à l'origine de l'émission de nombreux polluants de l'air⁸. Il constitue l'un des principaux émetteurs de particules et de NOx, en particulier dans les zones urbaines. En 2011, le projet APHEKOM⁹ a notamment conclu qu'habiter à proximité du trafic routier augmente sensiblement la morbidité attribuable à la pollution atmosphérique. En juin 2012, l'OMS a classé les effluents d'échappement des moteurs Diesel comme cancérigènes certains pour l'homme, les émissions des moteurs essence étant classées cancérigènes probables. C'est donc l'un des secteurs prioritaires d'action pour améliorer la qualité de l'air.

³ Les niveaux de PM₁₀ et de PM_{2,5} dans l'air ambiant sont respectivement réglementés depuis la directive 1999/30/CE et la directive 2008/50/CE. Voir en fin de document

⁴ Directive 1999/30/CE

⁵ Communication de la commission européenne du 18 décembre 2013 dans le cadre du programme un air pur pour l'Europe – Ref : COM (2013) 918 final.

⁶ La directive NEC (01/81/CE), promulguée en 2001, fixe des plafonds nationaux d'émissions (National Emissions Ceilings - NEC) de plusieurs polluants et vise à limiter les émissions des polluants acidifiants, eutrophisants et précurseurs de l'ozone troposphérique.

⁷ Les oxydes d'azote (NOx) sont la somme de l'oxyde d'azote (NO) et du dioxyde d'azote (NO₂).

⁸ Avis de l'Anses du 12/07/2012 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.

⁹ Résultats du projet Aphekom, Institut de veille sanitaire, 2012.

¹ Rapport IIASA 2005 Baseline Scenarios for the Clean Air for Europe (CAFE) Program - Commission Européenne

² Commissariat général au développement durable, 2012.

Description et chiffres clés

Les particules fines¹⁰ PM₁₀ et PM_{2,5} sont définies comme l'ensemble des particules dont la taille est inférieure à, respectivement, 10 et 2,5 micromètres. Parmi ces particules fines figurent notamment des particules ultrafines, de taille comprise entre 10 et 500 nanomètres (0,01 et 0,5 micromètres). Les particules issues du trafic routier sont principalement de trois types :

1. **Les particules primaires émises à l'échappement des véhicules.** Celles-ci comprennent notamment du carbone suie qui, outre ses effets sanitaires, contribue au réchauffement climatique. Les particules ultrafines primaires émises par les véhicules Diesel sont majoritairement formées de carbone suie.

2. Les particules secondaires sont des **particules ultrafines qui se forment dans l'air extérieur, à partir de gaz précurseurs émis à l'échappement des véhicules** Diesel et essence. Les principaux gaz précurseurs sont les oxydes d'azote (NOx), qui contribuent à la formation de nitrate d'ammonium particulaire et les composés organiques volatils¹¹ (COV, dont les hydrocarbures imbrûlés - HC), qui sont à l'origine de la formation d'aérosols organiques secondaires (AOS). Parce qu'elles se forment après l'échappement des véhicules, ces particules secondaires ne sont pas filtrables au niveau du véhicule et posent donc un défi technique. Selon des études récentes¹² les véhicules essence peuvent être à l'origine de la formation d'AOS, en particulier avec la technologie d'injection directe. Il n'existe pas d'études de référence sur la quantité d'AOS issus de véhicules Diesel.

3. **Les particules primaires émises par l'usure** des pneumatiques, des embrayages, des freins, ou de la route, et la remise en suspension, au passage des véhicules, de particules déposées sur la chaussée.

En 2011, les transports routiers représentaient 18 % des émissions nationales de particules primaires PM_{2,5}¹⁴. Toutefois, les émissions ne sont pas homogènes sur le territoire ; elles sont plus intenses en zone urbanisée où vivent 80% de la population. Ainsi, le trafic routier est à l'origine de 30% des émissions de PM_{2,5} en région Ile de France et 58% des émissions de PM_{2,5} à Paris¹³.

Les particules primaires issues des transports routiers sont principalement émises par les moteurs Diesel non équipés de filtre à particules. Le niveau des émissions est toutefois très dépendant de l'âge et de la technologie du véhicule. Initialement réservée aux véhicules lourds, la motorisation Diesel s'est répandue sur le parc de véhicules particuliers pour ses avantages en termes de réduction des émissions de CO₂ et de consommation de carburant. Début 2013, 61 % du parc français de véhicules légers étaient équipés de moteurs Diesel, soit 19,4 millions de véhicules. Ces motorisations ont représenté 67 % des ventes en 2013. Les émissions de particules primaires des véhicules Diesel sont majoritairement le fait des véhicules particuliers et principalement des véhicules les plus anciens non équipés des dernières technologies (les véhicules particuliers représentent 57 % des émissions de particules primaires des véhicules diesel, les véhicules utilitaires légers 27 % et les poids lourds 16 %)¹⁴.

Les particules primaires émises par les véhicules essence dépendent du type de motorisation. Alors que les motorisations essence à injection indirecte en émettent très peu (niveau équivalent aux motorisations Diesel équipées d'un filtre à particules), celles à injection directe, concernant de plus en plus de nouveaux modèles de véhicules, sont propices à générer des particules en quantité et en masse non négligeables. Ceci a conduit la Commission européenne à réglementer dès 2011 (norme Euro 5) les émissions de particules des véhicules essence à injection directe, de sorte qu'ils n'émettent pas plus de particules que les véhicules Diesel équipés d'un filtre à particules.

Le dioxyde d'azote (NO₂), lié à la combustion du carburant, est pour partie émis directement en sortie du pot d'échappement et pour partie formé indirectement dans l'atmosphère à partir de l'oxyde d'azote (NO)⁷.

Avec 56 % des émissions nationales en 2011, le transport routier est le 1er secteur émetteur de NOx¹⁵. Les émissions des transports routiers proviennent à 89% des véhicules Diesel (poids lourds Diesel : 41%, véhicules particuliers Diesel catalysés 33%, véhicules utilitaires légers Diesel catalysés 15%).

¹⁰ Dans le domaine de la santé, sont considérées comme particules fines uniquement les PM_{2,5}

¹¹ A noter également que l'ozone se forme en présence de NOx et de COV, sous conditions d'ensoleillement.

¹² Projet PM-DRIVE, Particulate direct and indirect on-road vehicular emissions, IFSTTAR / LTE, CNRS / LGGE, Université de Savoie / LCME, Université de Provence / LCME (projet en cours)

¹³ [Bilan des émissions de polluants et de gaz à effet de serre à Paris et historique 2000-2005](#). AIRPARIF, juillet 2013

¹⁴ CITEPA / format SECTEN – avril 2013

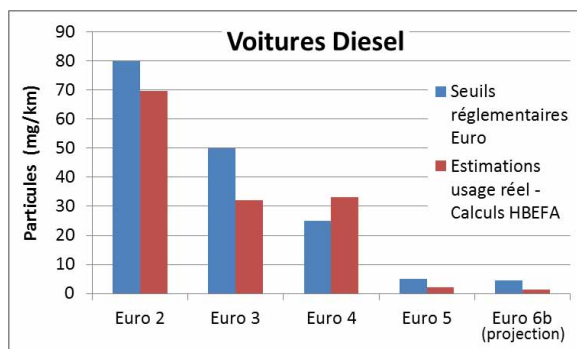
¹⁵ CITEPA / format SECTEN – avril 2013

Réduction des émissions de polluants

1. Du côté des constructeurs

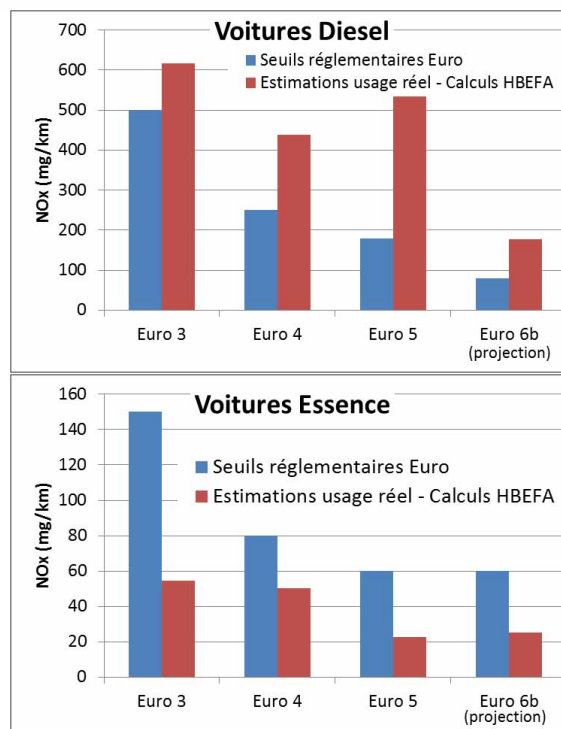
1.1 Mesures réglementaires

Depuis 1993, les normes européennes d'émissions dites « normes Euro » imposent des seuils d'émissions pour les polluants primaires à l'échappement des véhicules neufs. Ces normes diffèrent selon le type de véhicule (léger ou lourd)¹⁶. Actuellement, l'ensemble des NOx est mesuré à l'émission, sans distinction du NO₂ et du NO. Toutefois, la norme Euro VI pour les véhicules lourds, en vigueur pour tous les véhicules neufs au 1^{er} janvier 2014, impose la mesure séparée du NO et du NO₂, laissant présager la mise en place d'une limitation de la teneur en NO₂ pour le prochain palier.



Comparaison entre les seuils réglementaires Euro et les émissions calculées en usage réel suivant la méthode HBEFA¹⁷, de l'évolution dans le temps des émissions à l'échappement de particules primaires des voitures Diesel.

La sévérisation des normes Euro, ayant pour conséquence la généralisation des filtres à particules, a permis une importante diminution des émissions de particules primaires des véhicules Diesel. Au 1^{er} septembre 2014, les véhicules légers Diesel et essence à injection directe seront réglementés en nombre et en masse de particules pour respecter la norme Euro 6b.



Comparaison entre les seuils réglementaires Euro¹⁸ et les émissions calculées en usage réel suivant la méthode HBEFA¹⁷, de l'évolution dans le temps des émissions de NOx des voitures Diesel et essence.

La réduction des émissions est moins évidente pour les NOx. Le cycle NEDC utilisé pour la vérification du respect des normes Euro n'est pas représentatif des émissions des véhicules lors de leur usage réel, ce qui conduit à sous-estimer, entre autres, les émissions de NOx des voitures Diesel, ce qui n'est pas le cas pour les voitures essence. Ainsi, la sévérisation des seuils d'émissions des NOx des voitures Diesel n'a pas permis de diminuer les émissions réelles de ces véhicules à l'usage. Les projections de performance des voitures Euro 6b devront être vérifiées en usage réel. Par ailleurs, un nouveau protocole (WLTP) d'homologation des véhicules légers en Europe sera mis en place probablement dès 2017 avec la norme Euro 6c. Celui-ci devrait garantir une meilleure adéquation entre les émissions de polluants lors de l'homologation et celles en usage réel, avec des seuils d'émissions de polluants identiques à ceux d'Euro 6b pour les véhicules légers Diesel.

1.2 Technologies

Sous l'effet des réglementations, les technologies de réduction des émissions de polluants équipent de plus en plus de véhicules.

¹⁶ La norme Euro suivie d'un chiffre arabe (ex. Euro 5) concerne les véhicules légers, tandis que celle suivie d'un chiffre romain (ex. Euro V) concerne les véhicules lourds.

¹⁷ HandBook Emission Factors for Road Transport : facteurs unitaires d'émissions de polluants construits à partir de mesures, sur de nombreux véhicules, d'émissions de polluants, suivant des cycles de roulage représentatifs des usages réels mixtes ville, route et autoroute.

¹⁸ Euro 3 : véhicules neufs en vente entre 2001 et 2005, Euro 4 entre 2006 et 2010, et Euro 5 après 2011.

Il est toutefois difficile de maîtriser simultanément les niveaux d'émissions de particules et de NOx pour les véhicules Diesel. La formation de ces deux polluants dépend, en effet, de la qualité de la combustion. Diminuer les émissions de particules en brûlant mieux le carburant se traduit par une augmentation des oxydes d'azote. Inversement, réduire les oxydes d'azote à la source suppose une dégradation de la qualité de la combustion, qui s'accompagnera alors de la formation de particules en plus grande quantité. Plusieurs paramètres technologiques sont susceptibles de modifier le degré de cette dépendance, comme la formulation du carburant, l'architecture du moteur, la pression d'injection, la recirculation d'une partie des gaz d'échappement, le tout devant être assorti d'un contrôle fin des paramètres de fonctionnement du moteur et notamment de l'injection. Pour aller plus loin dans le traitement simultané des particules et des oxydes d'azote, le recours à des systèmes de post-traitement avancés sera nécessaire avec d'une part le filtre à particules et d'autre part les catalyseurs de réduction des NOx.

- **Les pots catalytiques**

Les pots catalytiques ont permis, dès les années 90 et au fur et à mesure de la sévèrisation des seuils réglementaires Euro, de réduire sensiblement d'une part, les émissions de monoxyde de carbone (CO), d'hydrocarbures (HC) et de NOx pour les véhicules essence et d'autre part, les émissions de CO et HC pour les véhicules Diesel. Le pot catalytique ne permet pas de réduire les émissions de NOx des motorisations Diesel, en raison de leur mode de combustion.

- **Les filtres à particules**

Les premiers filtres à particules sont apparus en 2000. Ainsi, une partie du parc de voitures Euro 3 (2000) et Euro 4 (2005) en est équipée. Depuis le 1^{er} janvier 2011, la norme Euro 5 impose un seuil d'émission de particules qui rend systématique les filtres à particules de dernière génération sur les véhicules Diesel neufs légers.

Fin 2013, plus du tiers du parc de véhicules particuliers Diesel en circulation est équipé en filtres à particules, soit environ 7 millions de véhicules. Les véhicules utilitaires lourds, dont la durée de vie est plus longue, restent très peu équipés en filtres à particules, cet équipement n'étant apparu qu'avec la norme Euro IV, applicable depuis 2005.

- **Filtres à particules fermés**

Les filtres "fermés" sont généralisés sur les véhicules Diesel neufs depuis janvier 2011. Ils permettent d'éliminer au moins 95 % en masse et 99,7 % en nombre des particules de plus de 23 nm (0,023 micromètres donc 100 fois plus petites que le seuil des PM_{2,5}) émises par les moteurs Diesel, y compris le carbone suie. Les véhicules Diesel équipés émettent donc un niveau de particules

équivalent à celui des émissions issues des moteurs à essence. Pour les particules de moins de 23 nm, l'efficacité des filtres à particules reste mal connue, mais les premiers résultats tendraient à montrer une filtration jusqu'à 7 nm (0,007 micromètres).

Certains filtres à particules fermés, dits "catalysés", sont à l'origine de sur-émissions de dioxyde d'azote (NO₂). Néanmoins, des progrès ont déjà été réalisés sur ce point. Les filtres à particules fermés de type "additivés", moins courants, ne souffrent pas de ce phénomène.

- **Filtres à particules ouverts**

Les filtres à particules dits « ouverts » n'éliminent que 30 % à 50 % des émissions de particules. Par conséquent, ils ne permettent pas de respecter la réglementation applicable aux véhicules neufs lourds ou légers (Euro 5 pour les véhicules particuliers).

- **Rétrofit**

Afin de réduire les émissions de polluants du parc existant, il est envisageable, sous certaines conditions¹⁹, d'installer des filtres à particules fermés sur des véhicules lourds déjà en service. A défaut, des filtres ouverts peuvent être utilisés, mais leur efficacité reste très inférieure, d'où un intérêt limité. L'installation en retrofit sur des véhicules légers n'est pas efficace.

- **Les systèmes de post-traitement des NOx**

Pour les véhicules légers, deux systèmes sont étudiés par les constructeurs et commencent à apparaître sur des véhicules en avance de norme (Euro 6b) :

- La SCR (Selective Catalytic Reduction) où la réduction des NOx est assurée par une réaction avec de l'ammoniac embarqué sous forme d'urée ;
- Le piège à NOx qui combine un système de captage des NOx et un catalyseur trois voies traitant le CO, les HC et les NOx (les NOx et le CO formant du N₂ et du CO₂).

A ce stade, les projections réalisées dans le cadre HBEFA indiquent que ces évolutions technologiques permettraient de réduire les émissions réelles de NOx de 60%, mais ne devraient pas permettre d'atteindre,

¹⁹ - la pose des filtres ne peut se faire que sur des lignes d'exploitation sur lesquelles les conditions de température d'échappement sont connues et sont compatibles avec le fonctionnement (régénération) des dispositifs ;
- afin de favoriser le fonctionnement des filtres il est préférable de ne pas équiper les véhicules trop anciens (antérieurs à Euro I) ;
- la maintenance du filtre doit être effectuée dans les règles et de manière régulière, afin d'éviter un encrassement trop important.

dans les conditions réelles d'usage, le seuil fixé dans la norme Euro 6b²⁰. À partir de 2017, la norme Euro 6c présentera les mêmes seuils d'émissions de NOx qu'Euro 6b mais vraisemblablement sur un nouveau cycle de roulage plus représentatif des usages réels (WLTC), couplé à des mesures embarquées sur véhicule (RDE : Real Drive Emission).

Pour certains véhicules lourds, les seuils réglementaires Euro IV puis V, en vigueur respectivement depuis 2006 et 2009, ont déjà conduit à l'installation de systèmes de post-traitement des NOx de type SCR, permettant une réduction des émissions de NOx de l'ordre de 70 % par rapport aux véhicules de la génération précédente Euro III. On estime à 25 % la part de véhicules utilitaires lourds équipés en système SCR.

2. Du côté des conducteurs

Les conducteurs, par leur comportement et leur mode de conduite ont également un rôle à jouer pour réduire leur consommation de carburant, l'émission de polluants et de gaz à effet de serre :

- En entretenant leur véhicule (à titre d'exemple, un filtre à air bouché peut générer une surémission d'environ 10 % de polluants)
- En adoptant une conduite souple : rouler sans à-coups, adapter le régime moteur.

Réduction des limitations de vitesse

L'effet d'une limitation de vitesse est dépendant de la congestion sur l'axe routier considéré. Le passage de 80 à 70 km/h d'une voie congestionnée, parce qu'il peut favoriser la fluidité du trafic, va dans le bon sens pour la qualité de l'air. Une évaluation a posteriori serait toutefois nécessaire pour évaluer finement les effets réels sur la qualité de l'air.

Les impacts réels sur la qualité de l'air des limitations de vitesses tendent à montrer des gains pour des réductions de vitesse aux vitesses élevées, et une situation beaucoup plus contrastée pour des réductions de vitesse aux vitesses faibles, en particulier le passage de 50 à 30 km/h²¹.

Actions de l'ADEME

Dès le début des années 90, l'ADEME a réalisé d'importants travaux sur les impacts des émissions des véhicules Diesel, en particulier dans le cadre des programmes PRIMEQUAL²² du PREDIT²³.

Aujourd'hui, l'ADEME appuie le Ministère de l'écologie dans la réduction des émissions de particules PM_{2,5} dans l'air ambiant, notamment dans le cadre du plan « particules », qui vise une réduction de 30 % des émissions de particules PM_{2,5} d'ici à 2015.

Les actions de l'Agence :

- Favoriser le développement de technologies de réduction ainsi que la connaissance et le contrôle des émissions (programme de R&D CORTEA). A ce titre, plusieurs programmes de recherche ont été lancés depuis 2012 sur cette thématique (CAPPNOR, PEAR, FEVER, CAPPNOR 2, PM-DRIVE) ;
- Expérimenter et évaluer des actions notamment dans le cadre de PRIMEQUAL, copiloté avec le Ministère de l'écologie ;
- Evaluer les impacts toxicologiques des émissions à l'échappement, en lien avec le Programme de recherche national Environnement-Santé-Travail, géré par l'ANSES (projets MAETAC et CARDIOX en cours) ;
- Communiquer, dans son classement annuel des émissions de CO₂ des véhicules neufs, sur le niveau des émissions polluantes des véhicules commercialisés (www.carlabelling.ademe.fr) ;
- Accompagner les collectivités dans la mise en place d'actions opérationnelles pour améliorer la qualité de l'air sur leur territoire, notamment dans la mise en œuvre des PPA et des PDU. L'appel à projet AACT AIR dans lequel se sont déjà engagées 10 collectivités répond à cet objectif ;
- Accompagner les entreprises pour organiser la mobilité et réduire les émissions liées aux transports. Le dispositif « CO₂, les transporteurs s'engagent », a fédéré plus de 1000 entreprises du secteur du transport routier depuis 2008 pour réduire, notamment, leurs consommations de carburant ;
- Veiller à anticiper les enjeux de qualité de l'air à plus long terme, par exemple au travers du projet de recherche Air 2030, sur la base des travaux de prospective énergétique 2030-2050 ;
- En tant qu'opérateur du programme des Investissements d'Avenir, l'ADEME soutient plusieurs projets de développement de technologies et de solutions innovantes et durables en matière de déplacements (véhicules routiers faiblement émetteurs de CO₂ et solutions de mobilité décarbonée, ferroviaire, maritime et fluviale).

²⁰ 60 mg/km pour les véhicules essence et 80 mg/km pour les Diesel

²¹ Impacts des limitations de vitesse sur la qualité de l'air, le climat, l'énergie et le bruit, février 2014

²² Programme de Recherche Interorganismes pour une Meilleure Qualité de l'Air à l'Echelle Locale

²³ Programme de Recherche et d'Innovation dans les Transports Terrestres

L'Avis de l'ADEME

Pour l'ADEME, la diminution des impacts énergétiques et environnementaux des transports passera par la combinaison de plusieurs types d'évolutions en matière de besoins de déplacement, de modes de transport (pour les personnes comme pour les marchandises), de types de mobilité (vélo, marche à pied ...) et de leur organisation (systèmes de libre-service, de co-voiturage, d'autopartage ...), de motorisation et de carburants (hydrocarbures, carburants de synthèse, électricité, ...). **Les enjeux de qualité de l'air en zone fortement urbanisée nécessitent tout particulièrement le développement de solutions de mobilité adaptées.**

L'impact sanitaire des particules, du dioxyde d'azote (NO₂) et de l'ozone est aujourd'hui démontré. Depuis les années 1990, les normes Euro ont permis de réduire drastiquement les émissions polluantes à l'échappement des véhicules neufs, à l'exception des émissions de NOx des véhicules Diesel, qui sont à l'origine des concentrations de NO₂ et participent à la formation de particules secondaires et d'ozone.

De nouvelles réductions d'émissions à l'échappement seront de plus en plus difficiles à atteindre pour les véhicules particuliers, au-delà de la norme Euro 6. De plus, chaque nouveau dispositif de dépollution est susceptible de générer d'autres types d'émissions de polluants primaires ou secondaires. L'exposition des populations aux particules secondaires liées aux véhicules Diesel et essence est encore mal quantifiée, mais ces particules, parce qu'elles sont ultrafines, sont soupçonnées de produire des impacts sanitaires graves.

Ainsi, afin de réduire l'impact sur la qualité de l'air des transports routiers dans les zones urbanisées les plus polluées, **il est nécessaire d'agir prioritairement sur les véhicules les plus émetteurs de particules et de NOx, en particulier les véhicules Diesel non équipé de filtres à particules fermés²⁴ qui représentent encore environ les deux tiers du parc**: véhicules particuliers et véhicules de livraison ainsi que flottes captives (taxis, bus...) circulant dans les agglomérations. Ces modes de transport doivent être substitués par d'autres modes de transports moins polluants ou par des véhicules plus respectueux de l'environnement.

En Europe, les Low Emission Zones²⁵ ont démontré leur efficacité comme mesure pérenne pour réduire les niveaux de pollution par les particules et le NO₂. Elles visent en effet à interdire la circulation des véhicules les plus polluants dans les agglomérations confrontées à des dépassements des seuils réglementaires.

Parallèlement aux progrès techniques et réglementaires, la recherche doit permettre d'améliorer les moteurs et les systèmes de dépollution mais aussi les connaissances des polluants et de leurs effets sur la santé, l'environnement et le climat, pour les moteurs Diesel et pour les moteurs essence. Il est en particulier nécessaire d'approfondir la connaissance des liens entre les émissions primaires de particules et de gaz précurseurs, et l'exposition réelle des populations aux particules (notamment ultrafines). Les travaux de recherche dans ce domaine devront notamment permettre :

- de progresser dans la connaissance du rôle des émissions des véhicules dans la formation de particules secondaires, en priorité des aérosols organiques secondaires (AOS), et de mieux quantifier leurs effets sur la santé, l'environnement et le climat ;
- de mieux qualifier la part des émissions et les effets sur la santé des particules liées à la remise en suspension des particules déposées sur la chaussée au passage des véhicules, à l'usure des pneumatiques, embrayages et freins, et à l'usure de la route ;
- d'estimer les émissions des véhicules sur des cycles au plus proche des conditions réelles d'utilisation, et lors des phases de régénération des filtres à particules.

POUR EN SAVOIR PLUS

Publications (www.ademe.fr/mediatheque)

« Les particules de combustion automobile et leurs dispositifs d'élimination » (2006).

« Pollution de l'air et transport terrestre : 10 ans de recherche PRIMEQUAL PREDIT » (2012 - ouvrage payant)

[Les Low Emission Zones en Europe : état de l'art et retour d'expériences \(2012\)](#)

Sites Internet

- <http://carlabelling.ademe.fr>

- www.buldair.org

- page dédiée sur le site de l'OMS : www.who.int/topics/air_pollution/fr/

²⁴ Le filtre à particules, apparu progressivement sur les véhicules mis sur le marché entre 2006 et 2010 (norme Euro4), est devenu systématique à partir de 2011 sur les véhicules neufs (norme Euro 5)

²⁵ http://bulldair.org/sites/default/files/MAJ%20benchmark%20LEZ_mai2012_V1.pdf