

Le Directeur général

Maisons-Alfort, le 11 AOUT 2009

## **AVIS**

### **de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail**

**Relatif à « Impact des technologies de post-traitement sur les émissions de NO<sub>2</sub> de véhicules diesel, et aspects sanitaires associés »**

Saisine Afsset n°2006-009

---

*L'Afsset a pour mission de contribuer à assurer la sécurité sanitaire dans le domaine de l'environnement et du travail et d'évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter. Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque.*

#### **Contexte**

Différentes réglementations européennes, et notamment les réglementations Euro relatives aux émissions des véhicules particuliers et des poids lourds, fixent des limites d'émissions en particules pour les véhicules diesels. Ces limites entraîneront probablement une certaine généralisation des filtres à particules sur ces véhicules.

Les filtres à particules (FAP) permettent de réduire les émissions de particules en masse et en nombre.

Cependant, certaines technologies disponibles sur le marché associent la catalyse d'oxydation (catalyseur d'oxydation) au FAP et à l'heure actuelle, différentes conclusions d'études européennes et californiennes indiquent que les technologies incluant un catalyseur d'oxydation entraînent une augmentation significative des émissions de dioxyde d'azote -NO<sub>2</sub> (traduite par un ratio NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> plus élevé) sans qu'un effet soit observable sur les émissions globales de NO<sub>x</sub>. La question de l'impact d'une généralisation des filtres à particules équipant les véhicules diesels sur les émissions de NO<sub>2</sub> et sur la santé s'est alors posée.

#### **Présentation de la question posée**

Dans ce contexte, les ministères en charge de l'environnement, de la santé et du travail ont saisi l'Afsset, le 24 août 2006, sur la question de « l'évaluation des impacts sanitaires relatifs des émissions de particules et de dioxyde d'azote des véhicules diesel ». Suite aux échanges tenus avec les ministères, trois axes de travail ont été définis, traitant prioritairement des oxydes d'azote au vu du contexte :

- **Axe 1** : Analyser l'ensemble des données bibliographiques disponibles avec plus particulièrement :
  - Une analyse des données de pollution françaises et européennes (en situation de proximité et de fond) dans le but notamment d'identifier un signal sur les concentrations d'oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$  et  $\text{NO}_2$ ) ;
  - Une analyse des données publiées dans la littérature scientifique, relatives aux émissions des véhicules diesel, et en particulier à l'évolution des émissions de dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ) ;
  - Une revue des données bibliographiques existantes relatives aux conditions de mesure des émissions de dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ).
- **Axe 2** : Identifier les impacts différenciés des technologies de couplage de catalyseur d'oxydation et de filtre à particules (FAP) sur les émissions de  $\text{NO}_x$  et le ratio  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ .
- **Axe 3** : cet axe de travail est orienté vers des considérations d'ordre sanitaire, décomposées en deux points :
  - Identifier les aspects toxicologiques liés aux émissions de  $\text{NO}_2$  associés aux différentes technologies de couplage de catalyseur d'oxydation et de filtre à particules. Identifier différents « scénarios types » d'exposition (dont des scénarios de type « travailleurs »), rechercher dans la littérature récente des données de concentration d'exposition pour ces scénarios et fournir à minima une évaluation qualitative du risque.
  - Etudier les relations entre les immissions<sup>1</sup> de  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$  et particules et des indicateurs sanitaires aigus et/ou chroniques (mortalité, pathologies cardiorespiratoires par exemple) au vu des éléments traités dans l'axe 1. Ce point ne pourra donc être abordé que si l'axe 1 met en évidence l'existence d'un signal particulier relatif aux oxydes d'azote et au ratio  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ .

## Organisation de l'expertise

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (mai 2003) » avec pour objectif de respecter les points suivants : compétence, indépendance, transparence, traçabilité.

L'Afsset a confié au Comité d'Experts Spécialisés (CES) « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » l'instruction de cette saisine. Ce dernier a mandaté un groupe de travail pour la réalisation des travaux d'expertise.

Les travaux du groupe de travail ont été soumis régulièrement au CES (tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques). Le groupe de travail s'est réuni à 12 reprises en séance plénière et à 4 reprises en sous-groupes dédiés, entre juin 2007 et février 2009, et le CES a débattu de ses résultats lors des séances des 27 mars 2008, 21 janvier et 5 mai 2009. Il a adopté lors de cette dernière séance les travaux du groupe de travail.

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

Cet avis se base pour les aspects scientifiques sur le rapport final issu de cette expertise collective et a été rédigé par l'Afsset.

---

<sup>1</sup> Immission : Concentration d'une substance chimique dans l'air ambiant

## Résultats

Les résultats de l'expertise collective mettent en avant que :

### 1) Concernant l'évolution des émissions d'oxydes d'azote (NO, NO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>) des véhicules diesels :

#### ■ Préambule

De nombreuses espèces chimiques sont présentes dans les émissions issues d'un moteur diesel (particules -PM, oxydes d'azote -NO<sub>x</sub>, hydrocarbures imbrûlés -HC, monoxyde de carbone -CO, hydrocarbures aromatiques polycycliques, aldéhydes, ...). Différentes technologies sont utilisées pour traiter ces émissions, notamment :

- Le catalyseur (sans filtre à particules) : participe surtout au traitement des CO et HC ;
- Le filtre à particules (FAP) : piège les PM. Les suies piégées doivent être brûlées pour régénérer le FAP et éviter une contre pression néfaste au moteur. Comme la combustion des PM s'effectue vers 550°C alors que la température des gaz d'échappement est très inférieure, des catalyseurs sont utilisés pour abaisser la température nécessaire à la combustion et procéder à une régénération périodique du FAP. Deux technologies sont couramment utilisées pour cela :
  - FAP catalysé : le FAP fait appel à un catalyseur d'oxydation, placé en amont du FAP, et dont l'une des fonctions consiste à accroître les concentrations de NO<sub>2</sub>, mettant ainsi à profit son pouvoir oxydant pour la combustion des PM. Le catalyseur peut également être intégré dans le média du FAP.
  - FAP additivé : le catalyseur est incorporé dans le circuit carburant (ex : catalyseur à base de cérium), et ne fait pas appel à une augmentation des concentrations de NO<sub>2</sub> pour la combustion des PM.

#### ■ Pour les émissions d'un véhicule léger diesel

- Les véhicules Euro 1 présentent des émissions de NO<sub>x</sub> inférieures en moyenne à celles des véhicules Euro 2. En effet, seule la somme HC+NO<sub>x</sub> est réglementée pour Euro 1 et Euro 2. L'utilisation d'un catalyseur d'oxydation rendue obligatoire par Euro 2, permet notamment d'atteindre les limites portant sur les émissions de CO et réduit les HC. En contrepartie, il augmente fortement les émissions de NO<sub>2</sub>, et laisse la possibilité d'une augmentation des NO<sub>x</sub> sans pour autant dépasser le plafond réglementaire Euro 2 portant sur le total HC+ NO<sub>x</sub>.
- Le passage d'Euro 2 à Euro 3 se traduit bien par une baisse des émissions de NO<sub>x</sub> sur cycles réels d'un facteur 2 à 3, sans réduction systématique des émissions de NO<sub>2</sub>.
- La filtration proprement dite n'est pas génératrice d'une surémission de NO<sub>2</sub>. En revanche, les technologies associant un renforcement de la catalyse d'oxydation au FAP pour gérer sa régénération (FAP catalysés) entraînent une augmentation des émissions de NO<sub>2</sub>.
- La norme Euro 4 qui impose sur le cycle d'homologation une réduction de moitié des émissions de NO<sub>x</sub>, ne présente pas d'évolution majeure sur des cycles réels par rapport à Euro 3. Les différentes configurations présentant un renforcement de la catalyse d'oxydation (notamment pour gérer la régénération du FAP), qu'il soit en amont ou sur le FAP, affichent les plus fortes émissions de NO<sub>2</sub>.

- A noter que pour les véhicules Euro 3, les émissions de NO, NO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> obtenues avec FAP additivé présentent relativement peu d'écart avec la version sans FAP, le FAP additivé ne nécessitant pas de renforcement de la catalyse d'oxydation pour sa régénération.
- Pour les émissions d'un véhicule lourd diesel

Bien que les données disponibles soient moins nombreuses pour ce type de véhicules, les points suivants ont pu être identifiés :

- Le renforcement des premières générations de normes Euro ne s'est pas toujours traduit par des réductions des émissions de NO<sub>x</sub> en conditions réelles de circulation (ce qui a également été observé sur les véhicules légers) ;
  - La présence de catalyseur, avec ou sans FAP, conduit systématiquement à une augmentation des émissions de NO<sub>2</sub> ;
  - Les émissions de NO<sub>x</sub> et de NO<sub>2</sub> sont fortement conditionnées par la combinaison d'un grand nombre de paramètres parmi lesquels figurent le point de fonctionnement du moteur (régime et charge), la recirculation des gaz d'échappement et les technologies de post-traitement.
- 
- Au final, si l'on s'intéresse à l'impact de ces évolutions sur les émissions du parc national de véhicules légers, il ressort des observations et modélisations effectuées (cf Annexe) que :
    - Le ratio NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> à l'émission pour le parc de véhicules diesel légers évolue à la hausse depuis 1996, date à laquelle les catalyseurs d'oxydation ont été rendus obligatoires sur les véhicules neufs par la norme Euro 2, et ceci va perdurer.
    - Toutefois, si le taux de pénétration des FAP additivés parmi l'ensemble des véhicules équipés de FAP dépassait 30% environ, les émissions globales de NO<sub>2</sub> dues aux véhicules légers devraient se réduire *a minima* jusqu'en 2014, plus ou moins rapidement selon les scénarii « favorable » et « modéré »<sup>2</sup> retenus par les experts.
    - Au contraire, si ce taux était inférieur à 30% environ, on observerait à terme une augmentation du NO<sub>2</sub> émis par les véhicules légers.
    - Depuis le début des années 2000, les émissions de NO<sub>2</sub> du parc sont principalement attribuables aux véhicules diesel catalysés d'Euro 2 à 4 (voire 5 avec les scénarii « modéré » et « défavorable »<sup>3</sup>).
    - A l'heure actuelle, du fait de leur faible pénétration dans le parc, les véhicules équipés de FAP associés à un catalyseur d'oxydation ne contribuent que très peu aux émissions totales de NO<sub>2</sub>. Cependant, cette contribution devrait augmenter à l'avenir.

Remarque : faute de données suffisantes dans la littérature scientifique, il n'est actuellement pas possible de réaliser le même type d'exercice pour les véhicules lourds.

---

2 Scénarios favorable et modéré : Part équivalente de FAP additivés et catalysés ; émissions unitaires de NO<sub>2</sub> des véhicules légers diesel Euro 5 réduites par rapport à Euro 4 dans la proportion prévue pour les NO<sub>x</sub> par les limites réglementaires pour le scénario favorable, et augmentées de 10% par rapport à Euro 4 pour le scénario modéré.

3 Scénario défavorable : 20 % de FAP additivés et 80 % de FAP catalysés ; émissions unitaires de NO<sub>2</sub> des véhicules légers diesel Euro 5 augmentées de 10% par rapport à Euro 4.

## 2) Concernant l'évolution dans l'air ambiant des concentrations d'oxydes d'azote (NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) liés au trafic routier :

- Les situations sont variables en situation de proximité du trafic automobile avec des tendances à la stagnation ou à la hausse des niveaux de NO<sub>2</sub>, que ce soit en France ou au niveau d'autres pays européens, et ce depuis le milieu des années 1990. La valeur limite annuelle<sup>4</sup> de 40 µg/m<sup>3</sup> fixée pour le dioxyde d'azote est dépassée sur nombre de ces sites.
- Deux facteurs peuvent expliquer ces tendances observées en proximité du trafic :
  - les processus photochimiques liés entre autres à l'évolution à la hausse des niveaux d'ozone qui peuvent jouer un rôle en réagissant avec le NO primaire émis par le trafic pour former du NO<sub>2</sub>,
  - l'évolution à la hausse des émissions primaires de NO<sub>2</sub> du trafic en lien avec la progression de la part des véhicules diesel et leurs évolutions technologiques au sein du parc automobile.
- Enfin, les niveaux de NO<sub>2</sub> relevés dans le flux de circulation et notamment à l'intérieur de l'habitacle de véhicules sont largement supérieurs à ceux que l'on peut observer au niveau des stations de surveillance de proximité au trafic. L'un des paramètres majeurs influençant les niveaux de NO<sub>2</sub> dans l'habitacle est constitué par les émissions des véhicules avoisinant le véhicule considéré, en particulier celui le précédant immédiatement. Les concentrations dans l'habitacle du véhicule augmentent nettement lors des passages en tunnel. Il ne peut cependant être exclu que d'autres paramètres (typologie de l'axe routier emprunté, état de congestion du trafic, topographie des lieux, etc.) influencent également les concentrations à l'intérieur de l'habitacle.

## 3) Concernant les effets sanitaires du NO<sub>2</sub> :

- Les données toxicologiques montrent que le NO<sub>2</sub> induit des effets toxiques sur le système respiratoire. Ces effets sont décrits dans des études expérimentales à la suite d'expositions à des concentrations en NO<sub>2</sub> supérieures aux valeurs guides.
- Les études épidémiologiques relatives aux expositions au NO<sub>2</sub> sont limitées par leur incapacité à séparer les effets du NO<sub>2</sub> de ceux des autres polluants émis ou formés avec lui, bien que de nombreux travaux méthodologiques soient en cours à ce sujet. En particulier, le NO<sub>2</sub> a déjà été utilisé comme marqueur de la pollution émise par les combustions, notamment celle émise par la circulation routière.
- Les apports de l'approche épidémiologique semblent relativement limités, tant pour ce qui concerne la connaissance des effets sanitaires du NO<sub>2</sub> émis par les véhicules diesel proprement dits, que pour la réalisation d'une évaluation des impacts sanitaires associés à l'introduction de nouvelles technologies de post-traitement dans le parc de véhicules.

S'intéressant plus particulièrement aux études ayant ciblé les effets du NO<sub>2</sub> contenu dans les émissions diesel :

---

<sup>4</sup> Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe

Il n'a pas été trouvé de publication relative à l'impact des dispositifs de post-traitement sur la toxicité des émissions diesel dans leur globalité (phases gazeuse et particulaire) incluant des mesures de NO<sub>2</sub>. Les seuls résultats d'études expérimentales disponibles proviennent de travaux réalisés dans le cadre d'un programme de recherche Primequal/Predit<sup>5</sup> et du programme MAAPHRI<sup>6</sup>, et dont les données ont fait l'objet d'une ré-analyse complète. Au final :

- Les expositions étudiées correspondent à des niveaux élevés par rapport à celles habituellement rencontrées en milieu ambiant.
- Les émissions de moteurs diesels, qu'elles soient ou non filtrées, semblent induire chez le rat des effets biologiques plus marqués lorsqu'elles sont traitées par catalyse d'oxydation (notamment : modulation de l'activité d'enzymes impliquées dans la défense anti-oxydante et inflammation systémique).
- La teneur en NO<sub>2</sub> de ces émissions constitue un traceur de leur traitement par catalyse d'oxydation et de leur potentiel oxydant.
- Tant les données épidémiologiques que les données toxicologiques ne permettent pas d'exclure le rôle d'autres espèces pro oxydantes émises conjointement.

Compte tenu de ces résultats, des niveaux d'exposition au NO<sub>2</sub> (actuels et prospectifs) ont été mis en perspective au regard de différentes valeurs de référence.

Ont été considérés :

- Comme milieu d'exposition : l'intérieur d'habitacle de véhicules légers (situation hors tunnel en agglomération, et en tunnel) ;
- Comme populations étudiées : la population générale et la population professionnelle correspondant aux professions exerçant la conduite d'un véhicule léger (4 et 8 heures par jour) ;
- Comme valeurs de référence :
  - Pour la population générale : 200 µg/m<sup>3</sup> sur une heure<sup>7</sup>
  - Pour la population professionnelle : 110 µg/m<sup>3</sup> sur 8 heures<sup>8</sup>  
400 µg/m<sup>3</sup> sur 8 heures<sup>9</sup>  
1000 µg/m<sup>3</sup> sur 15 minutes<sup>10</sup>
- Comme niveaux d'exposition :
  - Actuels : 130 à 560 µg/m<sup>3</sup> en 2007 en situation hors tunnel
  - Prospectifs : 100 à 550 µg/m<sup>3</sup> en 2014 en situation hors tunnel<sup>11</sup>

5 Rapport mis en ligne sur le site de Primequal/Predit (<http://www.primequal.fr/files/doc/899185bb1ea1e50e.pdf>)

6 Morin J-P, et al. Prevalidation of in vitro continuous flow exposure systems as alternatives to in vivo inhalation safety evaluation experiments: Outcome from MAAPHRI-PCRD5 research program. Exp Toxicol Pathol (2008), doi:10.1016/j.etp.2008.01.007

7 Valeur sanitaire : Valeur guide de l'OMS

8 Valeur sanitaire : Valeur obtenue par l'ajustement de la valeur guide OMS de 200 µg/m<sup>3</sup> sur une heure pour une durée d'exposition de 8 heures. Cet ajustement a été effectué en utilisant une relation générale concentration-temps-réponse dont est issue la loi de Haber.

9 Valeur de gestion : VLEP du SCOEL (Scientific Committee on Occupational Exposure Limits (ou comité scientifique en matière de limites d'exposition professionnelle à des agents chimiques), institué par la décision 95/320/CE de la Commission européenne)

10 Valeur de gestion : VLEP du SCOEL (Scientific Committee on Occupational Exposure Limits (ou comité scientifique en matière de limites d'exposition professionnelle à des agents chimiques), institué par la décision 95/320/CE de la Commission européenne)

Il ressort que dans la majeure partie des situations envisagées, les niveaux d'exposition au NO<sub>2</sub> projetés dépassent les valeurs de référence retenues. Les limites de cette analyse ne semblent pas à même de remettre en cause les conclusions qui peuvent en être tirées.

Actuellement, les niveaux de NO<sub>2</sub> auxquels sont exposés les usagers de véhicules légers en agglomérations, tant en population générale qu'en population professionnelle, peuvent induire des effets toxiques sur le système respiratoire, en particulier pour les populations sensibles (asthmatiques notamment). L'évolution de cette situation jusqu'en 2014 (entrée en vigueur de la norme Euro 6) dépendra de la répartition au sein du parc des technologies de dépollution parmi celles connues à ce jour et des mesures de gestion qui conditionnent les émissions du parc.

## Autres points d'intérêt au niveau international

Deux voies ont été plus particulièrement investiguées :

- 1) la responsabilité des technologies de traitement des émissions (filtres à particules, catalyseurs d'oxydation, ...) dans l'évolution des concentrations de NO<sub>2</sub> et particules dans l'air ;
- 2) les mesures de gestion visant à réduire les émissions de particules tout en limitant les émissions de NO<sub>2</sub> des véhicules routiers équipés de technologies de traitement des émissions.

### 1) Des études anglaises menées par l'Institute for Transport Studies<sup>12/13</sup> et une expertise de l'Air Quality Expert Group (AQEG)<sup>14</sup> ont investigué la responsabilité des émissions primaires de NO<sub>2</sub> du trafic dans l'augmentation des concentrations de NO<sub>2</sub> mesurées dans l'air. Ces études ont montré particulièrement :

- une augmentation des concentrations de NO<sub>2</sub> dans l'air et surtout du rapport NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> de façon statistiquement significative à Londres ;
- que la mise en place de filtres à particules catalysés (CRT, continuously Regenerating Trap) sur les bus londoniens explique principalement ces résultats, leur proportion étant passée de 39% à 79% entre 2002 et 2004, ainsi que la réduction du trafic de véhicules particuliers par ailleurs ;
- une très forte diminution de la concentration des PM<sub>2,5</sub> (particules fines < 2,5µm) et une diminution plus faible de la concentration des particules plus grossières, parallèlement aux observations précédentes<sup>13</sup> ;
- que l'hypothèse de la responsabilité d'une augmentation de la concentration de fond de l'ozone a été éliminée<sup>13</sup>.

---

11 Trois scénarios (minorant, moyen, maximalisant) ont été retenus afin d'estimer les niveaux moyens de NO<sub>2</sub> dans l'habitacle d'un véhicule léger en fonction des émissions globales de NO<sub>2</sub> du parc automobile entre 2007 et 2014. Ils se basent d'une part sur la distribution des concentrations en NO<sub>2</sub> mesurées en 2007 dans des habitacles de véhicules légers, sur les agglomérations de Rouen et Paris, d'autre part sur des scénarios d'évolution des émissions du parc automobile.

12 Evidence of an increasing NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> emissions ratio from road traffic emissions. (D.C.Carslaw, 2005)

13 Detecting and characterising small changes in urban nitrogen dioxide concentrations (D C Carslaw, N Carslaw, 2007)

14 DEFRA draft report - Trends in Primary Nitrogen Dioxide in the UK (Air Quality Expert Group, 2006)

**2) Il n'a pas été identifié, en France, de procédures testant la qualité des systèmes de filtres à particules pour les véhicules routiers, et tenant compte du NO<sub>2</sub>. Ce type de procédures existe cependant à l'étranger (Suisse, Allemagne, Autriche, Etats-Unis, ...) :**

- Tests de qualité VERT<sup>15</sup>
  - Basés notamment sur l'efficacité des systèmes de FAP concernant la rétention des particules ultrafines, la limitation des émissions secondaires (ex : NO<sub>2</sub>) et la durabilité.
  - Aucune augmentation significative de produits de réaction pouvant nuire à l'environnement ou à la santé par rapport à l'état initial du moteur n'est admise dans les gaz d'échappement épurés en aval du filtre<sup>16</sup>. Cela vaut entre autres pour le NO<sub>2</sub>. En outre, l'augmentation du rapport NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>, mesuré selon la norme SNR 277205, ne doit pas dépasser 30 % (valable depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2008).
  - Les systèmes de FAP ayant passé avec succès ces tests sont publiés et recommandés par l'Office fédéral suisse de l'environnement et la Suva pour l'équipement ultérieur de moteurs diesel. L'AKPF<sup>17</sup> met à disposition un label « Filtres VERT ».
  - Contrairement aux engins de chantiers (construction, tunnels), l'application des tests de qualité VERT aux véhicules routiers ne constitue pas à ce jour une obligation réglementaire en Suisse.
  - L'évaluation de systèmes de FAP en vertu des tests de qualité VERT est appliquée par plusieurs organisations (OFEV, Suva, OFROU – Suisse ; AUVA, TIROL, Vienne – Autriche ; TBG, UBA, TRGS – Allemagne; CARB, MSHA – USA ; VROM – Pays-Bas ; SÜDTIROL – Italie ; CONAMA – Chili ; DTI – Danemark ; DEEP – Canada ; LEZ London – Angleterre).
- Procédure de vérification des technologies de *retrofit* (c'est à dire, en installation sur un moteur existant) mise en œuvre par l'US-EPA<sup>18</sup>
  - Protocoles établis pour la vérification des catalyseurs, des FAP, des modifications moteurs, et des technologies SCR.
  - Basés notamment sur l'efficacité des systèmes concernant la réduction des particules, CO, NO<sub>x</sub> et HC, et sur la durabilité.
  - L'augmentation des émissions de NO<sub>2</sub> issues des technologies vérifiées est limitée à 20 % du niveau de base des émissions moteur de NO<sub>2</sub> (valable depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2009).

---

15 VERT: Verminderung der Emissionen von Realmaschinen im Tunnelbau (=réduction des émissions de machines réelles dans la construction de tunnels), un projet d'étude des possibilités techniques de minimiser les émissions de particules diesel des moteurs, (1994–1999). Projet commun de la Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents (Suva), du Österreichisches Unfallversicherungsanstalt (AUVA), de la Deutsche Tiefbauberufsgenossenschaft (TBG), de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) suisse et du Umweltbundesamtes (UBA) allemand, ainsi que d'un grand groupe d'accompagnement de l'industrie ([www.suva.ch](http://www.suva.ch)).

16 Une émission secondaire de ce type est « significative » lorsque des concentrations de polluants mesurées dans l'effluent gazeux en aval du filtre sont plus de trois fois plus élevées que les émissions du moteur non équipé d'un système de filtre à particules. Sont en principe considérées comme émissions secondaires toutes les substances toxiques qui ne se trouvent pas dans les gaz d'échappement d'un moteur non équipé d'un filtre à particules ou qui s'y trouvent en concentration nettement plus faible.

17 AKPF : Groupe de travail des fabricants de filtres à particules (Arbeitskreis des Partikelfilter-System-Hersteller)

18 US-EPA : Agence américaine de protection de l'environnement (Environmental Protection Agency)

- Les technologies de *retrofit* dont la vérification a été approuvée sont publiées dans la liste « Verified Technologies ».
- Procédure de vérification des stratégies de contrôle des émissions diesel mise en œuvre par le CARB<sup>19</sup>
  - Procédure établie pour la vérification des catalyseurs d'oxydation, des FAP, des filtres « flow-through »<sup>20</sup> (forme de post-traitement hybride qui permet une réduction des particules grâce à une catalyse d'oxydation et une filtration), des technologies de contrôle des NO<sub>x</sub> (EGR, technologies SCR, technologies de catalyse « lean-NO<sub>x</sub> »), sur les moteurs diesel en service.
  - Basée notamment sur l'efficacité des systèmes concernant la réduction des particules et des NO<sub>x</sub>, et sur la durabilité.
  - L'augmentation des émissions de NO<sub>2</sub> issues des technologies vérifiées est limitée à 20 % du niveau de base des émissions moteur de NO<sub>2</sub> (valable depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2009, auparavant limitée à 30 % depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2007).
  - Les stratégies de contrôle des émissions diesel dont la vérification a été approuvée sont publiées dans la liste « Currently verified ».
  - Procédure reprise dans la réglementation californienne (California Code of Regulations, Title 13, Division 3) et qui constitue une obligation réglementaire de conformité. La limite de 20 % d'augmentation de NO<sub>2</sub> (cf ci-dessus) est une limite réglementaire.

Ces trois procédures utilisées par des acteurs industriels à l'étranger ont montré leur opérationnalité.

## Avis

→ En premier lieu, l'Afsset rappelle que la pollution atmosphérique reste une préoccupation de santé publique majeure. Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et particules fines sont connus pour être des indicateurs de la pollution atmosphérique. Ils sont particulièrement associés au trafic routier dans les agglomérations. Des effets à court et long termes sont rapportés pour ces deux polluants avec, pour les particules, un impact sanitaire à long terme dominant sur l'impact sanitaire à court terme.

Ces deux polluants sont à considérer conjointement dans les politiques de gestion de la pollution atmosphérique tant du fait de leurs effets sur la santé que de leur aptitude à être précurseur de polluants secondaires également néfastes (le NO<sub>2</sub> est en effet précurseur d'ozone, de particules secondaires, ...).

Enfin, l'Afsset rappelle que les émissions de moteurs diesel sont classées par l'International Agency for Research on Cancer (IARC) comme probablement cancérogènes pour l'homme (groupe 2A).

---

19 CARB : Californian Air Resources Board, conseil émanant de l'agence californienne de protection de l'environnement (Cal-EPA)

20 Filtres « flow-through » : forme de post-traitement hybride qui permet une réduction des particules grâce à une catalyse d'oxydation et une filtration.

Dans ce cadre, compte tenu des résultats de ces travaux et des évolutions possibles du parc national de véhicules légers dans les années à venir, l'Afsset estime que :

→ Un bénéfice sanitaire peut être attendu de la mise en œuvre de dispositifs de dépollution incluant un filtre à particules sur les véhicules diesel, du fait notamment de la forte réduction des émissions de particules dont les effets sanitaires sont reconnus. Cependant, lorsque la mise en œuvre de dispositifs de dépollution incluant un filtre à particules s'accompagne d'une surproduction de NO<sub>2</sub>, les résultats des présents travaux montrent que la situation au regard de ce polluant demeure préoccupante notamment pour les occupants des véhicules légers en agglomérations. D'un point de vue sanitaire, les niveaux de NO<sub>2</sub> auxquels ils sont d'ores et déjà exposés indiquent, au regard des valeurs de référence, la possibilité de survenue d'effets sanitaires.

→ Ces éléments montrent l'utilité qu'il y aurait à mesurer systématiquement les émissions de NO<sub>2</sub> lors des cycles d'homologation en complément des mesures d'émission de NO<sub>x</sub>, et de rendre accessibles les résultats de mesure. De fait, la norme Euro VI (véhicules lourds) impose la mesure des émissions de NO<sub>2</sub> et laisse la possibilité de la définition ultérieure d'une valeur limite portant sur ces émissions. Ce n'est en revanche pas le cas de la norme Euro 6 (véhicules légers).

→ La méthode de mesure à l'émission des NO et NO<sub>2</sub> qui apparaît la plus appropriée est la chimiluminescence en ligne chauffée avec déshumidificateur, afin d'éviter la conversion de NO en NO<sub>2</sub>, la condensation, et la formation de HNO<sub>3</sub> non mesuré.

→ Les mesures de gestion qui viseraient à encourager la mise en place de filtres à particules, par exemple sur des flottes de véhicules captifs (bus, véhicules utilitaires, taxis, etc.), devront s'assurer de limiter tant que possible la génération de polluants additionnels, en particulier le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>).

→ Sur la base des connaissances disponibles, il n'est pas possible à l'heure actuelle d'estimer les impacts sanitaires respectifs des émissions de NO<sub>2</sub> et de particules induites par les différentes technologies de post-traitement des émissions diesel. En effet, les relations exposition-risque actuelles et issues des études épidémiologiques ne sont pas capables de séparer les effets sanitaires d'un polluant considéré de ceux des autres polluants émis ou formés avec lui, bien que de nombreux travaux méthodologiques soient en cours à ce sujet.

## Recommandations

### Concernant les normes portant sur les émissions des moteurs diesel :

→ l'Afsset recommande de systématiser dans les réglementations sur les émissions la prise en compte spécifique du NO<sub>2</sub> en complément des normes relatives aux NO<sub>x</sub> totaux à l'émission. Sans attendre les révisions réglementaires, l'Afsset encourage que des recommandations officielles allant dans ce sens soient élaborées.

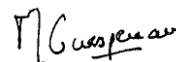
**De plus, et considérant :**

- les résultats de la présente expertise collective,
  - le taux de diésélisation particulièrement important du parc roulant français,
  - une certaine généralisation attendue des filtres à particules pouvant parfois être associés à une catalyse d'oxydation,
  - et l'existence de procédures testant la qualité des systèmes de filtres à particules pour les véhicules routiers, et tenant compte du NO<sub>2</sub> (utilisées notamment aux Etats-Unis, en Suisse, en Allemagne et en Autriche),
- l'Afsset préconise la mise en place d'un dispositif d'évaluation de l'efficacité des technologies de contrôle des émissions diesel (y compris FAP, catalyseurs d'oxydation, technologies de contrôle des NO<sub>x</sub>) en s'appuyant sur les expériences de la Suisse, Allemagne, Autriche et des Etats-Unis. Le dispositif prendra notamment en compte la réduction des particules, la réduction des NO<sub>x</sub>, la limitation des émissions de NO<sub>2</sub> et la durabilité des technologies.

**Concernant l'amélioration des connaissances, l'Afsset recommande :**

- de mieux documenter les niveaux des polluants émis par le trafic automobile à sa proximité immédiate<sup>21</sup>, et leurs déterminants (par exemple, influence de la position de l'échappement sur les niveaux mesurés dans le sillage), compte tenu de l'ampleur des populations concernées, et de l'identification dans les présents travaux de l'intérêt de ces milieux.
- de mieux documenter les émissions de NO<sub>2</sub> des véhicules ; en particulier pour les véhicules déjà en circulation et notamment les véhicules lourds, afin de mieux renseigner l'influence des technologies sur les émissions, mesurées sur cycle et en conditions réelles.
- de renforcer les connaissances dans le domaine de la toxicologie des émissions des véhicules diesels équipés de dispositifs de post-traitement. L'Afsset a constaté au cours de ses travaux la rareté des données disponibles concernant la toxicologie des émissions des véhicules diesels équipés de dispositifs de post-traitement. En particulier, il est préconisé de renforcer les travaux sur la toxicité des émissions considérées dans leur globalité (aérosols émis comprenant les phases gazeuse et particulaire).

**Le Directeur général**

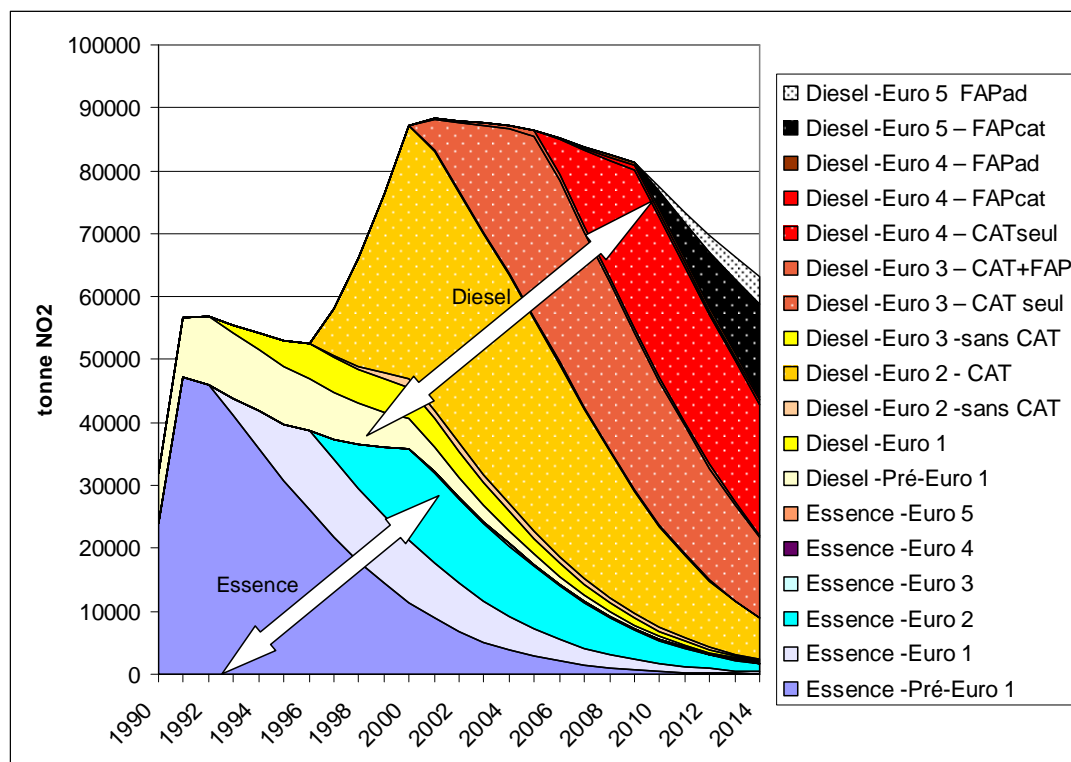


Martin GUESPEREAU

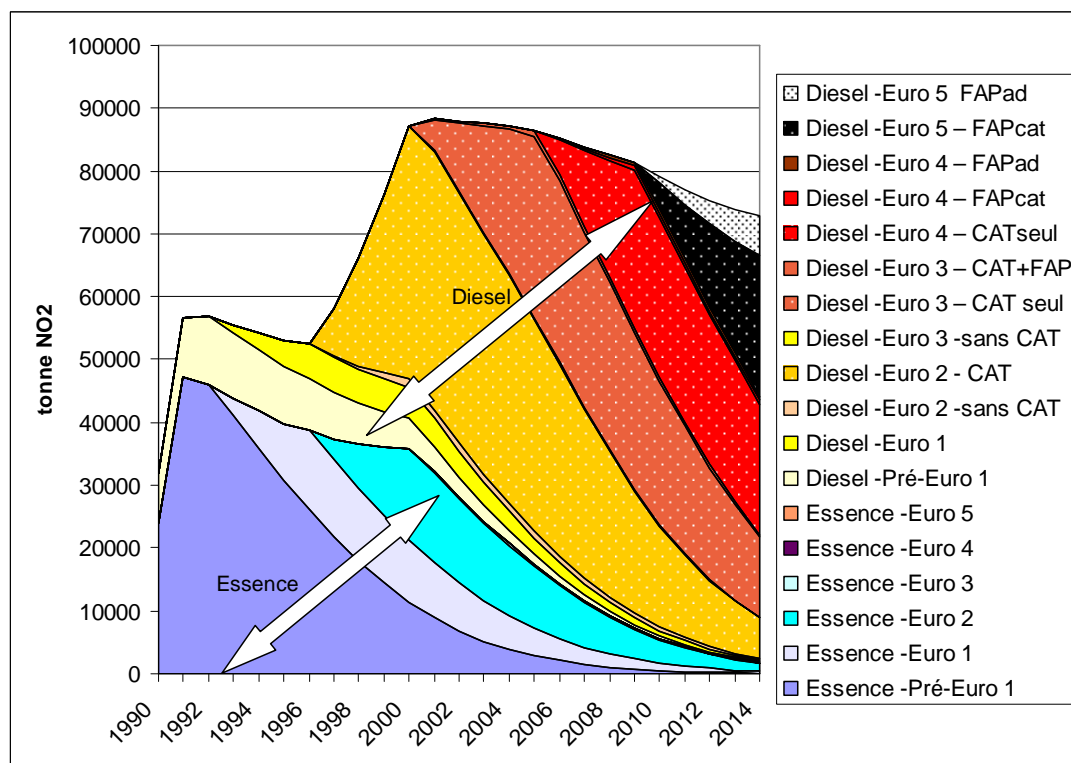
---

21 Proximité immédiate au trafic automobile : cette notion comprend l'ensemble des zones aériennes situées au plus proche du trafic automobile (plus proches que les zones d'implantation des stations fixes de surveillance de la qualité de l'air dites « de proximité au trafic », gérées par les associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'air), où l'air est susceptible d'être respiré (ex : dans l'habitacle d'un véhicule inséré dans le trafic, dans le sillage d'un véhicule inséré dans le trafic, ...).

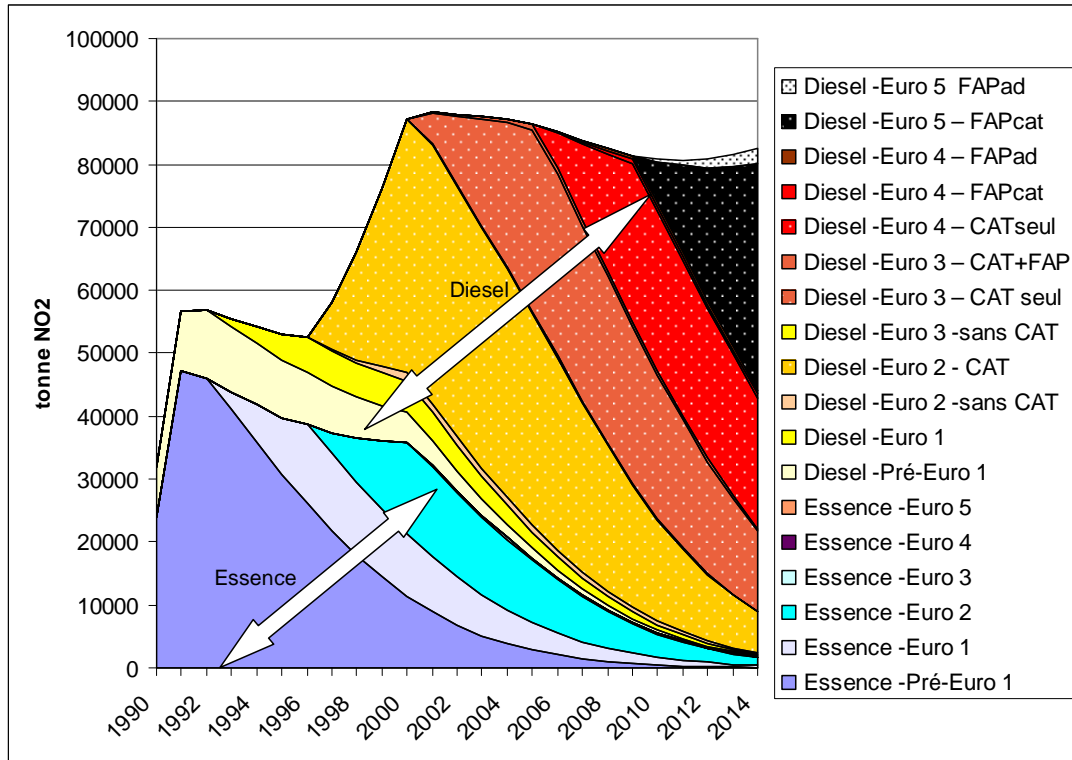
## Annexe : Emissions de NO<sub>2</sub> du parc national de véhicules légers



Scénario « favorable »



Scénario « modéré »



Scénario « défavorable »