

FONDATEUR  
ENQUÊTE

# DIESEL

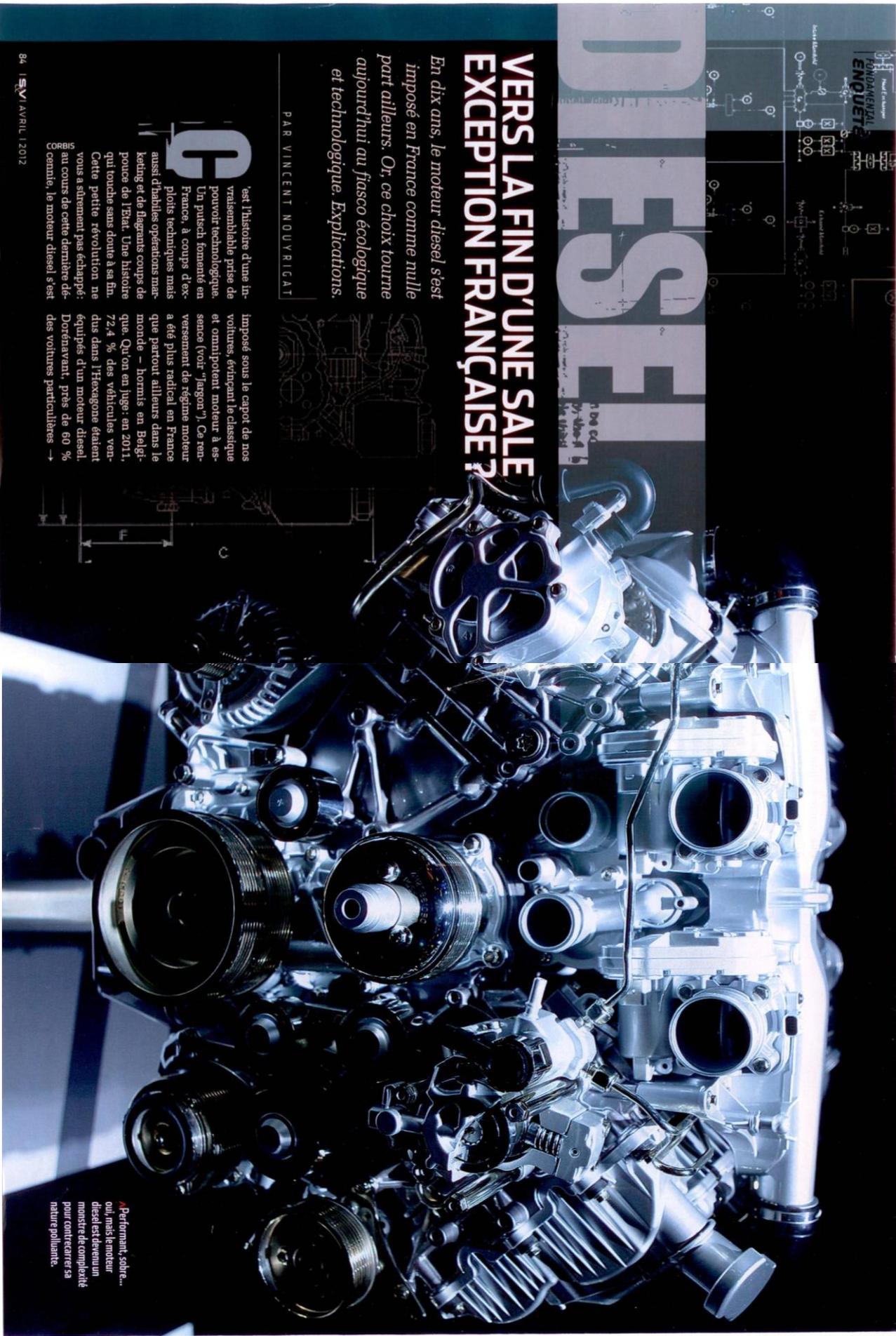
## VERS LA FIN D'UNE SALE EXCEPTION FRANÇAISE ?

*En dix ans, le moteur diesel s'est imposé en France comme nulle part ailleurs. Or, ce choix tourne aujourd'hui au fiasco écologique et technologique. Explications.*

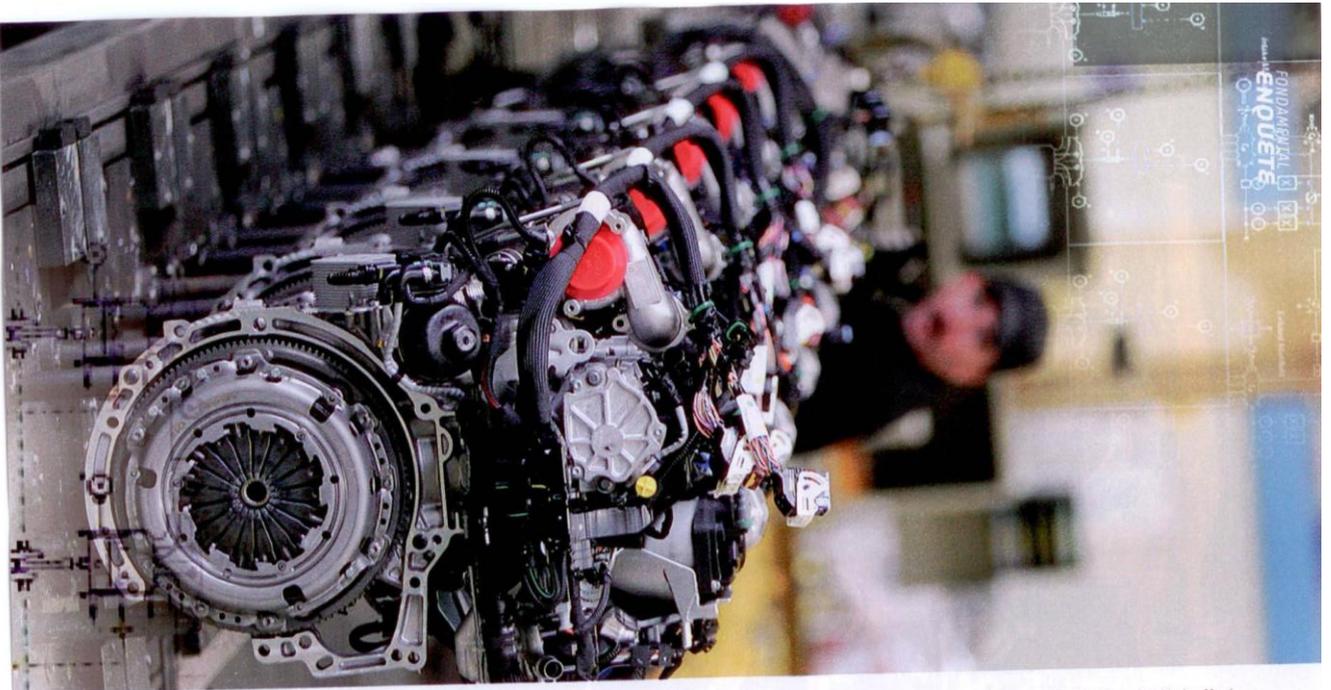
PAR VINCENT NOUYRICAT

**E**'est l'histoire d'une invraisemblable prise de pouvoir technologique. Un putsch fomenté en France, à coups d'exploits techniques mais aussi d'habiles opérations marketing et de fragants coups de pouce de l'État. Une histoire qui touche sans doute à sa fin. Cette petite révolution ne vous a-t-elle pas échappés ?

Si au cours de cette dernière décennie, le moteur diesel s'est imposé sous le capot de nos voitures, évincant le classique et omnipotent moteur à essence (voir "l'argent"). Ce rattrapage, à l'échelle mondiale – hormis en Belgique, où on en parle en 2011, 72,4 % des véhicules vendus dans l'Hexagone étaient équipés d'un moteur diesel. D'ores et déjà, près de 60 % des voitures particulières →



Performant, sûr... oui, mais le moteur diesel est devenu un monstre de complexité pour contraindre sa nature polluante.



→ tricolores carburant au gazole, contre environ 30 % en Allemagne et une proportion minuscule hors de l'Europe (voir encadré ci-contre).

Il ne s'agit pas là d'un hommage tardif au bon Rudolf Diesel, cet ingénieur né à Paris, dont le premier brevet de "machine à huile lourde" fut émis en 1892. Les raisons du succès sont très pragmatiques. Le gazole s'avère moins cher à la pompe que l'essence grâce à une fiscalité avantageuse organisée par l'Etat français dans les années 1970. De surcroît, le cycle thermodynamique du diesel lui permet d'être 15 à 20 % moins gourmand que son concurrent. Enfin, cette sobriété est aussi gage de faibles émissions de CO<sub>2</sub>.

#### DES FUMÉES MORTELLES ?

Malgré ces avantages, ce moteur est longtemps resté cantonné aux tracteurs et poids lourds. Avant que d'autres professionnels de la route, comme les taxis, s'y convertissent. A l'époque, il n'était pas prévu que Monsieur Tout-le-monde le choisisse. Jusque dans les années 1990, le moteur diesel pâtit d'une sinistre réputation. Au-delà du bruit et des vibrations, ses rejets de fines particules attisent les critiques : des poisons potentiellement mortels, liés à son fonctionnement. A commencer par les particules de suie, qui se forment en raison de la combustion hétérogène du carburant. "Les plus fines, d'un diamètre inférieur à 2,5 micromètres, peuvent se loger jusque dans les alvéoles des poumons, explique Françoise Marano, directrice du Laboratoire de cytophysiologie et toxicologie cellulaire (Paris VII). Il en résulte des maladies respiratoires comme l'asthme, mais aussi des bronchites aiguës et des

concrets du poumon. On constate, en outre, des effets délétères sur le système cardiovasculaire." Mais il y a aussi des oxydes d'azote, liés au mode de combustion du diesel en excès d'air (voir p. 88) – et donc en excès d'azote contenu dans l'air. Ils forment de l'ozone également responsable de multiples maladies respiratoires. Autant de problèmes dont ne souffre pas la motorisation essence.

Pourtant, les constructeurs automobiles ont réussi à faire oublier cette image de "diesel à papa", très inconfortable et polluant. Fiat, Mercedes et surtout le français PSA Peugeot-Citroën – pionnier historique du diesel – ont d'abord accompli des progrès techniques incontestables. A l'image du développement, entre 1986 et 1996, d'un système d'injection directe à haute pression (le Hdi), qui élimine les bruits intempestifs ainsi qu'une bonne partie des fumées les plus visibles. Mais cela ne suffit pas à faire décoller les ventes. En 1997, PSA Peugeot-Citroën prend alors l'initiative de mobiliser 70 ingénieurs sur un projet de "filtre à particules" bloquant la sortie de l'essentiel des particules – toute la difficulté étant qu'il ne se

### LES PARTICULES LES PLUS FINES PEUVENT SE LOGER JUSQUE DANS LES ALVÉOLES DES POUMONS

bouche pas aussitôt. Et ça marche ! L'objet final est présenté en grande pompe à la presse, le 13 avril 1999. PSA Peugeot-Citroën peut se targuer d'avoir donné une image vertueuse au diesel. Qu'importe si l'installation du filtre à particules n'est obligatoire sur les véhicules neufs que depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2011... L'effet de com' a

L'Europe est la seule à avoir accordé une place au moteur diesel. A l'exception notable de la Grèce, où les voitures particulières diesel sont interdites à Athènes au nom de la protection des monuments historiques. Ailleurs dans le monde, l'argument de la pollution locale est aussi régulièrement avancé. Aux Etats-Unis, le parc diesel est quasi inexistant, en raison "des normes de pollution californiennes,

joué sur les consommateurs et les décideurs. Surtout que dans cette décennie 2000 naissante, l'argument des faibles émissions de CO<sub>2</sub> des véhicules occulta toute autre considération. Les constructeurs automobiles surfent sur ce filon. Et, pour eux, le meilleur est à venir.

Car, incroyable mais vrai, la Gemelle de l'environnement va donner la patte belle au moteur à huile lourde. En 2007, le gouvernement français lance son système de bonus-malus, offrant un pécule aux acheteurs d'un véhicule moins émetteur de CO<sub>2</sub>, le plus souvent un diesel... Y compris si celui-ci n'est pas équipé de filtre à par-

ticules ! "Au nom de la lutte contre l'effet de serre, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) a encouragé cette déclassification", donne une image vertueuse au diesel. Qu'importe si l'installation du filtre à particules n'est obligatoire sur les véhicules neufs que depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2011... L'effet de com' a

### CES PAYS QUI N'EN VEULENT PAS

historiquement en avance, mais aussi si du faible prix du carburant essence", fait remarquer Gaëtan Monnier, directeur de D2T. Au Japon, moins de 1 % des véhicules rodent au diesel. Les raisons : la pollution des villes, le faible nombre de trajets interurbains, "ainsi que la petite taille des véhicules – pour des questions de places de parking – qui incite plutôt à la motorisation essence ou hybride-essence", observe Gaëtan Monnier. En Chine, le diesel ne fait pas encore partie de la culture technique des constructeurs automobiles locaux.

### JARGON

**Moteur à essence et moteur diesel** diffèrent sur bien des plans : quand il prend le besoin de l'Énergie d'une "bougie" pour déclencher la combustion du son carburant, le second le fait spontanément sous hautes températures et pression. De plus, le premier fonctionne avec du supercarburant essence, l'autre avec du gazole – plus dense et énergétique.

Si le moteur diesel attise desormais toutes les critiques (voir pages suivantes), "le moteur à essence bénéficie de toute l'attention des laboratoires. Avec l'intention de lui faire approcher le schéma du diesel...", indique Gaëtan Monnier, directeur de D2T, société d'essais de moteurs. Bref, la France doit sans doute se préparer à un nouveau changement de régime moteur...

# 1 UN MOTEUR... qui ne cesse d'enfumer l'air des villes

La France paie cher aujourd'hui son engagement pour le moteur diesel, grand émetteur de particules fines. Le constat est édifiant: l'air des villes de l'Hexagone est à ce point empli de particules fines (diamètre inférieur à 10 micromètres) que la Cour européenne de justice s'appête à prendre de lourdes sanctions financières, formellement coupable, le diesel? Par le passé, les constructeurs argumentaient sur la proportion minuscule des particules émises par leurs voitures au regard de celles du chauffage, de l'industrie ou de l'agriculture. Or, une étude d'Airparif (Association de surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France), publiée en septembre 2011, démontre l'évidence: "Il apparaît que le bordure des voies, 44 % des particules fines viennent du trafic routier, parmi lesquelles 9 sur 10 proviennent des diesels", expose Veronique Ghersi, ingénier d'études à Airparif. Une vaste étude sanitaire européenne (Aphelion) menée de juillet 2008 à mars 2011 renchérit:

"Nous avons constaté que dans des zones proches du trafic, cette pollution décroît plus de 15 % des cas d'asthme chez l'enfant", souligne Sylvia Medina, de l'Institut de veille sanitaire. Et cette pollution particulière n'est pas seulement un gêne. Bien décidé

à exclure les vieux diesels des centres-ville, le gouvernement avance aujourd'hui le chiffre de 8000 décès prématurés en France chaque année à cause des particules du trafic routier. Cette statistique impressionnante n'est qu'une extrapolation... "Pour autant, les études épidémiologiques ne cessent de mettre en évidence un lien significatif entre mortalité et pollution particulière. Selon les résultats par l'OMS étaient respectées, les habitants de Paris et de Lille gaspieraient près de 6 mois d'espérance de vie, ceux de Marseille 7,5 mois.

## DES FILTRES À PARTICULES RARES

Un filtre sanitaire en cours dont le diesel est donc en bonne partie responsable... Et ce, malgré l'invention du fameux "filtre à particules" en 1995. "Son installation sur tous les véhicules neufs a été rendue obligatoire en 2011 seulement. Vu l'âge moyen des voitures du parc, plus de 8 ans, trop peu en sont équipés", souligne Pierre Macauderie, expert en dépollution chez PSA Peugeot-Citroën. Le problème sera-t-il réglé une fois les vieux diesels, dépourvus de filtre, envoyés à la casse? Il y a débat. Pour Pierre Macauderie, "nos filtres règlent le problème, en bloquant

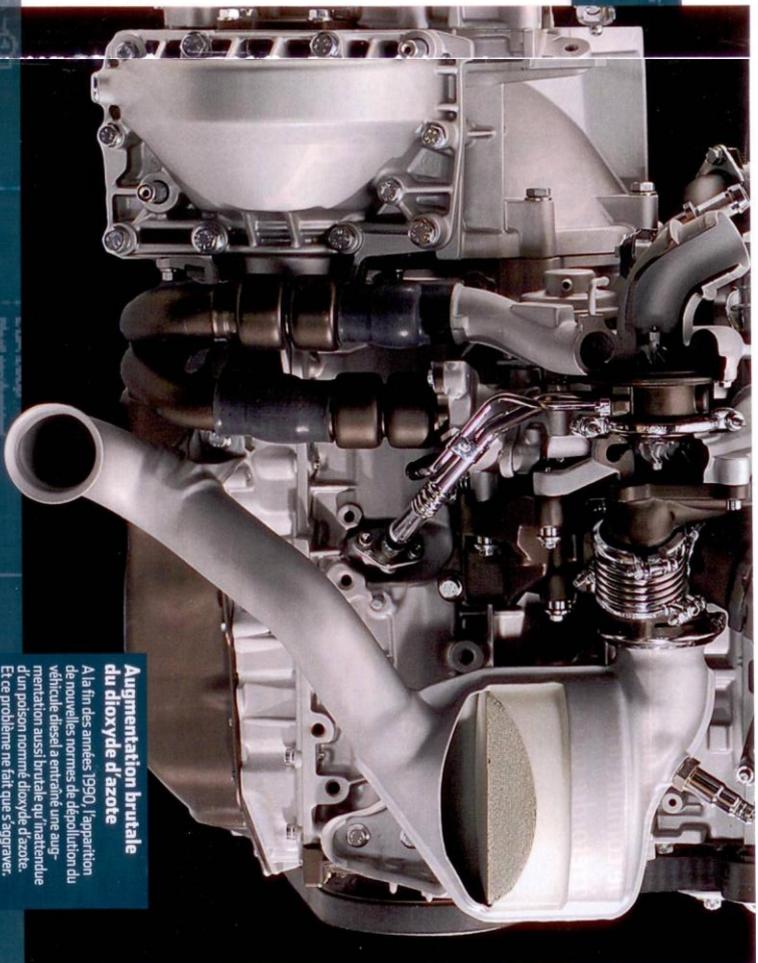
99 % de la masse des particules de toutes dimensions mesurées à partir de 23 nanomètres". Un discours auquel se heurtent trois types d'arguments.

D'abord, les toxicologues s'inquiètent des effets des nanoparticules de suie qui passeraient à travers les filtres. Ensuite, les tests d'homologation de ces appareils sont sujets à caution: "Ces épreuves ne sont pas représentatives des conditions réelles de roulage, avec ses embouteillages, ses vives accélérations, les résultats sont significativement moins bons dans la réalité", rétablit Federico Millo, de l'Institut polytechnico de Turin. Enfin, avertit Gilles Aymoz, de l'Ademe: "On s'interroge sur les composés pouvant se former en aval des filtres à particules et qui échappent à tout cadre réglementaire".

Les chercheurs ont déjà détecté des particules ultrafines d'un genre particulier, dont les effets sur la santé sont inconnus. Malgré les progrès accomplis, le diesel pose toujours problème.

# 2 UN MOTEUR... qui émet

Cela ressemble à une malédiction: quand, à partir de 1996, les véhicules diesel ont été équipés d'un formidable système - le catalyseur d'oxydation - capable d'éliminer le fumée monoxyde de carbone, ces voitures se sont mises à émettre en masse... un autre gaz puissamment toxique, le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>). Et cet intrus continue de sévir car ce dispositif de catalyse sert aussi aux filtres à particules. Un intrus "qu'on a construit à l'aveugle sans la peine d'anticiper, parce qu'il ne faisait l'objet d'aucune réglementation spécifique", tempère le toxicologue Jean-Paul Morin. Avant de décrire les effets de ce



# de nouveaux poisons

gaz: "En faisant inhaler à des rats ces gaz d'échappement au NO<sub>2</sub>, nous avons constaté que l'appareil respiratoire était touché, mais surtout que les rongeurs montraient des arythmies cardiaques pouvant mener à l'infarctus." Question: cela vaut-il la peine de bloquer les dangereuses particules, voir le fameux catalyseur d'oxydation, au risque d'engendrer ce fameux NO<sub>2</sub>? Seul ce chercheur, les effets du NO<sub>2</sub> seraient en effet encore plus délétères... Pour l'heure, en 2012, seule la technologie antiparticules de PSA ne produit pas de surplus de NO<sub>2</sub>... Si bien que, malgré toutes sortes de progrès techniques, "la quantité de dioxyde d'azote

au bord des routes ne décroît pas depuis dix ans, voire augmente", s'inquiète Gilles Aymoz, du service d'évaluation de la qualité de l'air (Ademe). Les normes préconisées par l'OMS sont allégrement dépassées, en particulier au sein des habitacles de voiture. Dans un

avis émis le 1<sup>er</sup> septembre 2009, l'Agence française de sécurité sanitaire protège son impact sanitaire global. Et puis, d'autres gaz émis conjointement au NO<sub>2</sub> pourraient peut-être agir. L'absence de données d'ailleurs: le manque de données toxicologiques sur les rejets des systèmes de dépollution des diesels. D'autres mauvaises surprises ne sont donc pas à exclure.

## Augmentation brutale du dioxyde d'azote

À la fin des années 1990, l'application de nouvelles normes de dépollution du véhicule diesel a entraîné une augmentation aussi brutale que l'augmentation d'un poison nommé dioxyde d'azote. Et ce problème ne fait que s'aggraver.



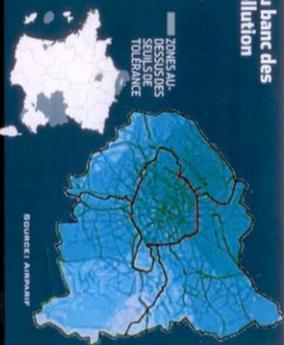
sanitaire: "Il est encore trop tôt pour situer son impact sanitaire global." Et puis, d'autres gaz émis conjointement au NO<sub>2</sub> pourraient peut-être agir. L'absence de données d'ailleurs: le manque de données toxicologiques sur les rejets des systèmes de dépollution des diesels. D'autres mauvaises surprises ne sont donc pas à exclure.

# Le diesel est mis au banc des accusés pour sa pollution

Une récente étude d'Airparif a réévalué l'importance des émissions de particules fines issues du trafic routier en Ile-de-France - dont on voit les grandes axes se dessiner et s'entrecroiser en vert.

En cause? Les véhicules diesel, toujours plus nombreux. Résultat: la situation des particules fines est plus mauvaise qu'il n'y paraît.

Source: Airparif



## Le moteur diesel et son mode de combustion donnent du fil à retordre aux chimistes

FRANTZ GOURIOU  
INGÉNIEUR AU CENTRE D'ÉTUDES ET DE RECHERCHE DES MOTEURS

### 3 UN MOTEUR... qui arrive dans une impasse technique

Le moteur diesel est devenu un monstre de complexité : "On est entré à un objet coïeux, lourd en entretien et qui pose des questions de fiabilité", témoignent à demi-mot les ingénieurs motoristes. Ce n'est pas tellement la recherche de performance ou de sobriété qui pose problème ici. Simplement, au fil des normes de pollution de plus en plus sévères, les ingénieurs ont été obligés d'accumuler des rustines sophistiquées pour contrearrer sa nature polluante : alors que le moteur à essence est parvenu à éliminer la quasi-totalité de ses rejets toxiques au début des années 1990 via un seul dispositif de "catalyseur à trois voies".

Pourquoi un tel décalage ? Simple, selon Frantz Gouriou, du Centre d'étude et de recherche technologique en aérothermique et moteur :

"Le moteur essence respecte la chimie, au sens où la combustion s'y déroule avec les justes proportions de carburant et d'oxygène, tout au contraire du diesel, en excès d'air, qui donne donc du fil à retordre aux chimistes."

#### UN MOTEUR SATURÉ DE "RUSTINES"

Où, la prochaine norme de pollution, qui entrera en vigueur dès 2014, pourrait être celle de trop. Elle exige en effet d'abaisser ses émissions d'oxyde d'azote de 180 mg/km à 80 mg/km. Répondre à la norme actuelle avait déjà demandé aux motoristes d'installer un lourd dispositif de recyclage des gaz d'échappement dans la chambre de combustion baptisé

vanne EGR, dispositif qui s'est depuis rendu célèbre pour ses pannes à répétition. Mais "cette seule stratégie ne suffit pas à remplir les nouveaux objectifs, il faudra lui ajouter de nouveaux systèmes d'échappement", reconnaît Pierre Macauderie, expert en dépollution chez PSA Peugeot-Citroën. Deux solutions s'annoncent aujourd'hui. La première, baptisée "réduction catalytique sélective", est contraignante et très encombrante : imaginez qu'il faudra installer un réservoir d'une bonne vingtaine de litres d'urée synthétique, sans parler des injecteurs, calculateurs, capteurs, etc. La seconde option est également contraignante et onéreuse : un filtre à oxydes d'azote recouvert de métaux précieux et gourmand en carburant. Selon diverses estimations, le prix à payer pour ces ajouts dépasserait les 2 000 euros par véhicule. Et cela, malgré les grands volumes de production dont bénéficie le diesel. "L'équation économique notamment des petits moteurs diesel devient de plus en plus difficile à résoudre, analyse Pierre Macauderie. Dans cette catégorie, nous nous orientons aussi désormais vers le moteur à essence."

PSA Peugeot-Citroën, jusqu'ici ultra-fidèle au diesel, vient de débiter la production d'un petit modèle essence cette année. Certes, avertit l'ingénieur Cédric Morner : "Le moteur à essence, dans sa quête de moindre consommation, n'est pas à l'abri de tomber à son tour dans la complexité". Mais le diesel, lui, est déjà arrivé à saturation.

### 4 UN FORT... qui déstabilise l'industrie pétrolière hexagonale

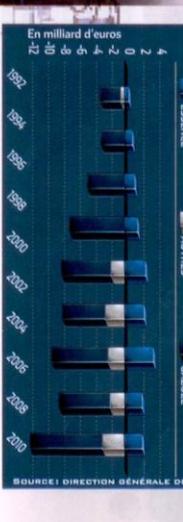
Un chiffre traduit à lui seul la violente prise de pouvoir du diesel : l'année dernière, plus de 80 % du volume de carburant vendu en France était du gazole – l'essence se contentant du reste. Il faut savoir qu'un baril de pétrole donne, après distillation, toute une série de liquides, du plus lourd (bitume) au plus léger (essence), en passant par l'intermédiaire (gazole). Or, voilà bien le problème : "Les raffineries françaises doivent des années 1970, quand tout le monde consommait de l'essence, et ces usines ont donc été conçues pour extraire un maximum d'essence à partir d'un baril de brut", expose Pierre Marion, de l'Institut français du pétrole.

#### TROP PEU DE GAZOLE PRODUIT

Les ingénieurs en sont donc réduits à tortiller les schémas de raffinage existants pour obtenir tant bien que mal un peu plus de gazole. "Las", "c'est très insuffisant : on produit trop peu de gazole, et beaucoup trop d'essence, poursuit Pierre Marion. En vérité, vu les moyens techniques demandés, nous ne parviendrons jamais à répondre à la demande de notre porc diesel".

#### Solides des produits pétroliers raffinés

La France voit ses importations de gazole augmenter de manière inquiétante. Alors que nos exportations d'essence paraissent dérisoires.



Source : Direction générale des douanes

