

Environnement

Aérodynamique	Fiche n° 1
Allègement	Fiche n° 2
Biocarburants	Fiche n° 3
Boîte de vitesses automatique et logique floue	Fiche n° 4
Boîte de vitesses robotisée	Fiche n° 5
Common rail	Fiche n° 6
Contrôle moteur	Fiche n° 7
Décaleur d'arbre à cames	Fiche n° 8
Downsizing	Fiche n° 9
Effet de serre	Fiche n° 10
Energies alternatives	Fiche n° 11
Exhaust Gaz Recirculation (EGR)	Fiche n° 12
Filtre à Particules (FAP)	Fiche n° 13
Hybrides	Fiche n° 14
Injecteurs piézo-électriques	Fiche n° 15
Management du cycle de vie	Fiche n° 16
Moteur à charge stratifié	Fiche n° 17
Moteur sans arbre à cames ou Cameless	Fiche n° 18
Moteurs HCCL et CAI	Fiche n° 19
Multi-injection Diesel	Fiche n° 20
Optimisation de la combustion	Fiche n° 21
Piège à NOx	Fiche n° 22
Pile à combustible	Fiche n° 23
Pot catalytique	Fiche n° 24
Qualité de l'air	Fiche n° 25
Qualité de l'air dans l'habitacle	Fiche n° 26
Recyclage	Fiche n° 27
Réduction de CO ₂	Fiche n° 28
Réduction des frottements	Fiche n° 29
Réglementations des émissions	Fiche n° 30
Sonde lambda	Fiche n° 31
Technologies moteurs	Fiche n° 32
Turbocompresseur	Fiche n° 33



L'aérodynamique

➤ Dès qu'une voiture roule à une vitesse supérieure à 80 km/h, et qu'elle ne rencontre pas de déclivité, **l'essentiel de l'énergie que délivre son moteur est consacré à vaincre la résistance de l'air**. Cette force qui s'oppose à l'avancement du véhicule est directement liée à son Cx : son coefficient de pénétration dans l'air suivant l'axe de son déplacement. Plus le Cx sera faible, moins le frottement qu'exerce l'air sera important, et, par voie de conséquence, la puissance que devra délivrer le moteur pour conserver la vitesse du véhicule sera réduite d'autant. Le Cx d'une voiture influe donc considérablement sur sa consommation.



➤ L'ESSENTIEL

La maîtrise de l'aérodynamique d'une voiture est une tâche particulièrement complexe. En outre, les formes qui présentent un Cx optimal, comme celle d'une goutte d'eau, ne sont pas forcément applicables à la carrosserie d'une voiture. De plus, toute excroissance, même minime, comme un joint de pare-brise, est susceptible de perturber l'écoulement de l'air et de dégrader le Cx. Il faut savoir que la traînée aérodynamique d'une voiture est proportionnelle au carré de sa vitesse. C'est-à-dire que, lorsque le véhicule double sa vitesse, cette force se voit surmultipliée par quatre. C'est donc aux vitesses élevées qu'une aérodynamique peu performante devient rapidement pénalisante pour la consommation.

EN RÉSUMÉ >>>

L'étude aérodynamique d'un véhicule permet de réduire sa résistance à l'avancement aux vitesses élevées. Meilleure est sa pénétration dans l'air, moins le moteur est sollicité pour maintenir sa vitesse et, donc, moins il consomme.



> COMMENT ÇA MARCHE ?

1 QUESTION DE CX

Si la forme de l'ouvrant du véhicule est importante et lui permet de mieux se frayer un passage dans les molécules d'air, c'est principalement à l'arrière du véhicule que se joue la performance aérodynamique : en effet, une forte dépression se forme dans son sillage et tend à aspirer le véhicule. Cette aspiration représente 70% de la force aérodynamique. Tout élément, comme un rétroviseur, les entrées d'air, les ailes ou le soubassement de la voiture, influe sur le Cx global.

Parfois, des modifications minimes, et à peine visibles, permettent des améliorations considérables. C'est le cas, par exemple, des déflecteurs de custode visibles sur Mégane Scénic. Ces petites pièces en plastique jouent un rôle important dans l'aérodynamique. Elles permettent de maîtriser l'endroit où les filets d'air se séparent de l'arrière de la voiture, alimentant ainsi l'aspiration arrière et contribuant à améliorer le Cx. Pour optimiser l'aérodynamique de ses voitures,

Renault fait massivement appel à la modélisation numérique. Elle permet de «dégrossir» une carrosserie pour tenter d'approcher le compromis idéal entre aérodynamique et contraintes, tant techniques qu'esthétiques. Cependant, ce sont souvent des détails qui font toute la différence entre deux solutions.

Or, le numérique n'offre pas encore une finesse d'analyse suffisante pour quantifier précisément tous leurs effets. Pour affiner ses études et analyser de manière extrêmement fine le comportement aérodynamique de tout nouveau modèle, Renault utilise une soufflerie de toute nouvelle génération, baptisée S2A, capable de traiter des véhicules à l'échelle 1. En outre, son fonctionnement ultrasilencieux autorise des mesures acoustiques. Elles sont mises à profit pour détecter les sources de bruits d'écoulement d'air au niveau de la carrosserie et les éliminer.

2 LE SAVIEZ-VOUS ?

Les lois de l'aérodynamique peuvent aller à l'encontre de notre intuition. Par exemple, un arrière relativement abrupt offrira à un véhicule un meilleur Cx qu'un arrière très galbé en forme de demi-sphère.





L'allègement

Plus la masse d'une voiture est importante, plus l'énergie que doit fournir le moteur pour la lancer, ou lui conserver sa vitesse dans **la moindre déclivité**, est importante. Un point qui va à l'encontre des économies d'énergie et de la réduction des émissions de CO₂ en particulier.



RENAULT COMMUNICATION

> L'ESSENTIEL

Depuis de nombreuses années déjà, certaines pièces métalliques de nos véhicules ont fait place à leurs homologues en matériaux moins denses. Ainsi, polymères et composites ont progressivement remplacé l'acier pour des pièces de carrosserie (pare-chocs, ailes, hayons, bacs de roue de secours) ou de nombreux éléments de l'habitacle. Dans les moteurs, la fonte des culasses fait progressivement place à l'aluminium, beaucoup plus léger. Pour le châssis ou la structure, les aciers THLE (très haute limite d'élasticité) et TTHLE (très très haute limite d'élasticité) ont permis la réalisation d'éléments à la fois plus légers et capables de mieux absorber

l'énergie d'un choc. Mais l'ambition de cet allègement ne s'arrête pas là. Les recherches visent également des éléments de la structure, du châssis ou des renforts.

EN RÉSUMÉ >>>

La réduction de la masse d'un véhicule permet la réduction de sa consommation tout en lui offrant des prestations au moins équivalentes.



➤ COMMENT ÇA MARCHE ?

Tout le problème réside dans la connaissance de la réaction des matériaux de substitution en cas de contrainte forte ou de choc. Par exemple, sur un châssis, la déformation des traverses en aluminium est totalement différente de celle de traverses en acier dotées du même profil. Il en est de même de tous les éléments sécuritaires chargés de se déformer pour absorber l'énergie en cas de choc. Les phénomènes de rupture, entre autres, interviennent très différemment sur une pièce en fonction de la matière qui la constitue. Se posent également des problèmes de coût qui peuvent être liés soit au matériau lui-même ou à sa mise en œuvre, soit à son usinage. Si certains composants peuvent être utilisés en Formule 1, par exemple, il est difficilement envisageable d'élargir leur usage aux voitures familiales en raison du surcoût qu'induirait leur utilisation. C'est le cas, par exemple, des fibres de carbone ou encore du magnésium ou du titane, des métaux particulièrement légers mais chers et délicats à usiner, dont l'usage en série est restreint. L'allègement ne se limite donc pas à la substitution d'une matière première par une autre. Outre son comportement en cas de crash, des études de durabilité, de corrosion, de compatibilité avec les processus d'assemblage du véhicule, de traitement de surface, de compatibilité avec les peintures, etc., doivent être menées.

Souvent, la conception de nouvelles solutions, adaptées à la structure et au comportement du nouveau matériau employé, est nécessaire. En outre, ces modifications n'affectent pas que la conception et la fabrication de la voiture. Toute sa maintenance s'en trouve aussi modifiée : on n'intervient pas de la même manière sur une pièce en acier et sur un élément en aluminium, par exemple.

Si l'aluminium est l'un des matériaux les plus connus pour l'allègement de certaines pièces, il est loin d'être le seul.

Pour la carrosserie et l'habitacle, polymères et fibres ne cessent de faire des progrès et gagnent peu à peu l'industrie.

En outre, une meilleure connaissance de la structure de la matière et de son comportement aux contraintes a permis, grâce à l'amélioration du processus de production, de faire évoluer les matériaux traditionnels. C'est notamment le cas des aciers avec l'apparition de l'acier THLE et TTHLE.

En matière d'allègement, on peut distinguer deux secteurs distincts. Le premier concerne le groupe motopropulseur, c'est-à-dire le moteur et les éléments qui lui sont associés, comme la boîte de vitesses et la transmission. Le second vise l'habitacle et la carrosserie. Deux mondes aux contraintes très différentes.

Pour le groupe motopropulseur, les contraintes principales sont d'ordre mécanique. Il sera question ici de résistance aux contraintes, de tenue en température, de comportement vis-à-vis des frictions, etc. L'aspect visuel de tels composants est, en revanche, secondaire.

Pour la carrosserie et l'habitacle, les problèmes se posent différemment. En premier lieu, ces éléments sont soumis aux agressions du monde extérieur. Leur résistance à la corrosion, mais aussi aux rayures ou aux chocs légers, doit être prise en compte. Leur comportement aux vibrations est également important : peuvent-ils être à l'origine de nuisances acoustiques pour les occupants de la voiture ? Enfin, leur aspect compte également, puisqu'il s'agit d'éléments immédiatement visibles.

Reste que l'allègement représente un coût, essentiellement lié à celui des matériaux de substitution utilisés, à leur usinage et à leur mise en œuvre. Il est estimé que chaque kilo gagné ne doit pas donner lieu à un surcoût supérieur à 3 euros.



Les biocarburants

Obtenus par pressage ou fermentation de plantes cultivées, comme le colza, le tournesol, la betterave ou la canne à sucre, **les biocarburants constituent une solution alternative aux carburants d'origine fossile**. De plus, le gaz carbonique qu'absorbent ces plantes durant leur croissance vient compenser partiellement les émissions de CO₂ que génère la combustion de ces nouveaux carburants. Il faut donc parler ici de bilan global du CO₂ plutôt que de taux de polluants mesuré dans les gaz d'échappement.



AGENCE RÉA

L'ESSENTIEL

Les études consacrées aux biocarburants ont été menées autour de trois axes essentiels liés à des contraintes économiques et techniques pour qu'ils soient immédiatement applicables à la filière automobile. Les biocarburants doivent être transportables par le même réseau de distribution que leurs homologues conventionnels. Ils doivent aussi être sans danger pour l'utilisateur, car destinés à un large public. Enfin, leur usage ne doit pas impliquer de modification des moteurs ni des

infrastructures logistiques de distribution. Pour répondre à ces contraintes, la réglementation actuelle limite leur adjonction à des carburants conventionnels, comme l'essence ou le gazole, à 5%. En outre, les biocarburants constituent des facteurs d'emploi d'autres types de ressources agricoles et leurs implications économiques sont nombreuses, ne serait-ce que pour contribuer à échafauder une politique énergétique moins dépendante de la ressource énergétique pétrolière.



LES CINQ PRINCIPAUX BIOCARBURANTS DÉJÀ UTILISÉS

■ **Le bioéthanol, ou alcool éthylique**, est un alcool obtenu par fermentation des sucres que contiennent des plantes comme la betterave, le blé, le maïs, voire les déchets organiques collectés dans les ordures ménagères ou les résidus des agro-industries. Après broyage, la fermentation est obtenue par l'adjonction de levures. En Europe, la betterave à sucre et le blé sont utilisés majoritairement, car leur broyage fournit un substrat facile à fermenter. La canne à sucre fait également partie des sources privilégiées. Au Brésil, où elle abonde, elle a prouvé son efficacité en couvrant près de 70% des besoins énergétiques des transports routiers de marchandises. En Europe, l'éthanol peut être utilisé en mélange dans l'essence avec un taux maximum de 5%, conformément à la réglementation. Au-delà de ce taux, des modifications du moteur et du circuit de carburant sont nécessaires. Dans le cas du Brésil, Renault a adapté ses véhicules pour qu'ils fonctionnent avec de l'essence contenant de 25 à 100% d'éthanol.

L'utilisation de l'éthanol dans le gazole est à proscrire pour des raisons de sécurité.

■ **L'ETBE (éthyl-tertio-butyl-éther)** est produit par réaction entre du bioéthanol et de l'isobutène, un composant intermédiaire issu de la pétrochimie. En France, le bioéthanol n'est pas directement utilisé en tant que carburant mais sous forme d'ETBE. Conformément à la réglementation, son ajout dans l'essence ne peut excéder 15%. Renault préfère l'utilisation de l'ETBE à celle de l'éthanol en raison des risques techniques réduits qu'il présente.

■ **Le biodiesel, ou Diester**, est synthétisé à partir des graisses et des huiles végétales extraites du colza ou récupérées (huiles de friture usagées entre autres).

Pour produire le biodiesel, l'huile de colza subit une réaction chimique, une transestérification, avec du méthanol. Le seul problème que présente le biodiesel est qu'il résiste mal au froid. Exposé à des températures hivernales, il cristallise et

devient inexploitable par le circuit d'injection. Un point faible qui fait encore obstacle à son utilisation. En revanche, il peut être incorporé, avec un taux maximum de 5%, dans du gazole standard. La transformation d'huile végétale brute en ester méthylique est essentielle pour que cette ressource énergétique renouvelable puisse être utilisée dans les véhicules Diesel.

Enfin, une nouvelle filière en cours de développement associe bioéthanol et huiles végétales. Il s'agit de produire des esters éthyliques par réaction de l'éthanol avec de l'huile végétale.

■ **Le biogaz** est obtenu par fermentation méthanogène, qui dégage donc du gaz méthane. Il s'agit d'une «digestion» anaérobie, c'est-à-dire en absence d'oxygène, de la biomasse. Elle transforme les matières organiques en gaz carbonique et en méthane. Cette technologie est déjà largement utilisée dans le traitement des eaux usées et des déchets organiques ménagers. En outre, ce processus présente un très bon rendement énergétique. Le gaz récupéré, essentiellement du méthane, peut directement être utilisé comme substitut du gaz naturel. L'utilisation de Diester et d'éthanol ainsi produits est nettement plus favorable à la diminution de l'effet de serre que celle de carburants conventionnels.

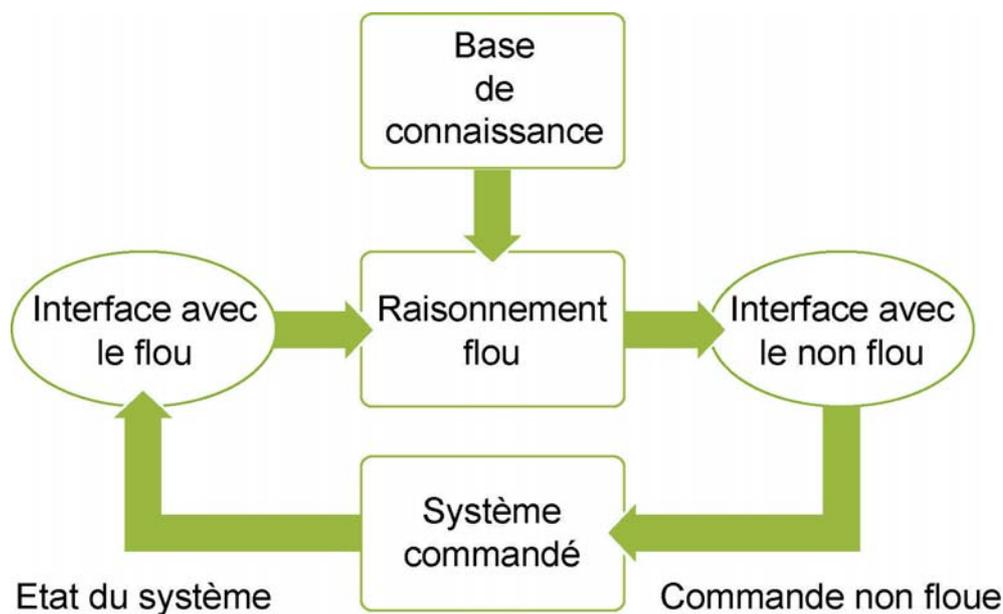
Le CO₂ rejeté lors de la combustion des biocarburants correspond à la quantité absorbée lors de la croissance des végétaux. Reste que le bilan global doit être légèrement pondéré. Si le gain en émissions de CO₂ est avéré, l'utilisation de biocarburants n'est pas totalement neutre. Les cultures dont ils sont issus nécessitent de l'énergie, comme la transformation de la matière première agricole et leur transport.

Reste que la production de biocarburants est encore limitée et ne permettrait pas, actuellement, de couvrir nos besoins énergétiques. En outre, les véhicules actuels sont conçus pour fonctionner avec une teneur maximale de 5% en biocarburants ajoutés à des carburants conventionnels, conformément à la réglementation. Au-delà de ce taux, une validation commune aux industries concernées est nécessaire.



Boîte de vitesses automatique et logique floue

La logique traditionnelle gère ses décisions à partir de paramètres qui ne peuvent prendre que deux états : «vrai» ou «faux», que symbolisent des «0» et des «1». La logique floue introduit des notions comme «plutôt vrai», «plutôt faux», «tout à fait vrai» ou «tout à fait faux». Elle est ainsi moins «stricte» dans ses décisions et s'adapte à l'évolution de situations. Elaborée sur des bases mathématiques strictes et sur l'expérience humaine, la logique floue est capable de prendre en compte une multitude de facteurs incertains. Elle est ainsi particulièrement **bien adaptée à la gestion de situations réelles**.



RENAULT COMMUNICATION

L'ESSENTIEL

L'apparition de la logique floue dans la gestion des boîtes de vitesses leur a offert un comportement mieux adapté aux conditions de roulage et capable de s'ajuster au tempérament du conducteur. Au bout de quelques kilomètres parcourus, le calculateur sera en mesure de déterminer si sa conduite est plutôt sportive ou, à l'opposé, très coulée, et d'adapter ses réactions en fonction de ce constat. Pour cela, le calculateur «observe» en permanence les actions, et les réactions, du conducteur, par

l'intermédiaire de capteurs analysant ses interventions sur les pédales d'accélérateur et de frein. En outre, il analyse systématiquement les conséquences de ses décisions. En fonction de ces analyses et de ces constats, il modifie les lois de changement de rapport afin d'adapter le comportement de la boîte de vitesses au tempérament du conducteur et aux conditions de roulage. Ici, la gestion de la boîte de vitesses automatique n'est plus figée, mais évolue sans cesse.



➤ COMMENT ÇA MARCHE ?

Les bases de la logique floue ont été formulées par Lotfi A. Zadeh en 1965. Sa vocation était de pouvoir programmer un ordinateur pour qu'il contrôle une machine un peu comme le ferait un être humain.

Si on peut considérer la logique floue comme une généralisation de la logique classique, elle ajoute une fonctionnalité déterminante : la possibilité de calculer un paramètre en disant simplement dans quelle mesure il se trouve dans telle ou telle zone de valeur. Les «vrais» ou «faux», symbolisés par des «0» et des «1» en logique traditionnelle, font place à des «états» plus mitigés : «complètement faux», «un peu vrai», «à moitié vrai», «presque tout à fait vrai» et «tout à fait vrai». Pour illustrer ce type de fonctionnement, prenons le cas d'une boîte de vitesses automatique et simplifions son fonctionnement en supposant que, pour le troisième rapport, la plage de régime moteur doit être comprise entre 3 000 et 4 000 tours/minute. Dans l'absolu, la logique traditionnelle changera de rapport dès que l'un de ses seuils est atteint.

La logique floue sera moins stricte dans ses décisions. Par exemple, dès 3 800 tours, elle considérera que le régime moteur est «plutôt élevé». Elle s'interrogera alors sur l'intérêt de changer de rapport pour, entre autres, préserver un bon rendement au moteur. Mais, avant de prendre sa décision, elle analysera les réactions du conducteur lors de situations similaires qu'elle a mémorisées. Par exemple, lors d'une précédente tentative de changement de rapport anticipé, a-t-il accéléré pour maintenir l'accélération de la voiture ? Si tel est le cas, le calculateur différera sa décision éventuellement jusqu'à ce que le régime moteur grimpe au-delà de 4 000 tours pour atteindre une valeur que la

logique floue considérera comme «vraiment élevée» et qui imposera le changement de rapport.

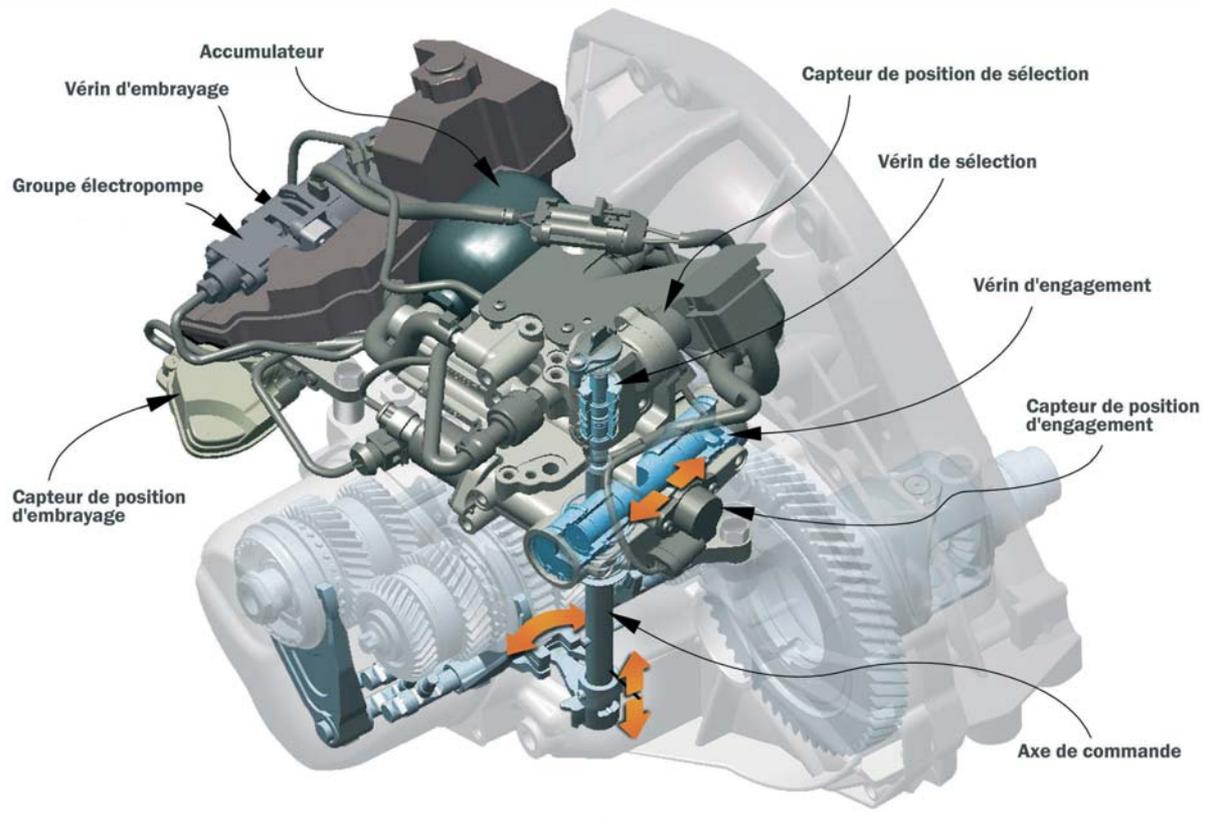
On retrouve le même type de comportement vers les bas régimes. La logique floue peut anticiper un rétrogradage pour offrir à la voiture de meilleures reprises.

Bien entendu, ces pondérations qu'introduit la logique floue viennent en complément de paramètres plus conventionnels comme la prise en compte du couple et de la charge du moteur, l'accélération ou la décélération de la voiture, etc. Elle apporte, avant tout, une personnalisation du tempérament de la boîte de vitesses tout en faisant travailler le moteur dans les meilleures conditions possibles dès que l'occasion s'en présente. Elle lui offre ainsi un meilleur rendement tout en préservant un bon agrément de conduite.



La boîte de vitesses robotisée (BVR)

L'atout majeur de la boîte robotisée est son **excellent rendement** : elle ne consomme de l'énergie que lors d'un changement de rapport. Sa base mécanique est identique à celle d'une boîte manuelle. Des servomécanismes, un «robot», l'actionnent et changent les rapports en fonction des instructions que leur communique un calculateur qui prend aussi en charge la gestion de l'embrayage.



RENAULT COMMUNICATION

L'ESSENTIEL

On peut assimiler le fonctionnement d'une boîte robotisée à la gestion automatisée d'une boîte manuelle. Pour le conducteur, le comportement global du véhicule est très proche : pas de pédale d'embrayage, le passage des rapports se fait automatiquement en fonction du régime du moteur, des conditions de roulage, de la topographie de la route, etc. Un calculateur, au fonctionnement comparable à celui d'une boîte automatique, assure l'ensemble des opérations nécessaires. La boîte de vitesses robotisée, comme une boîte manuelle, doit

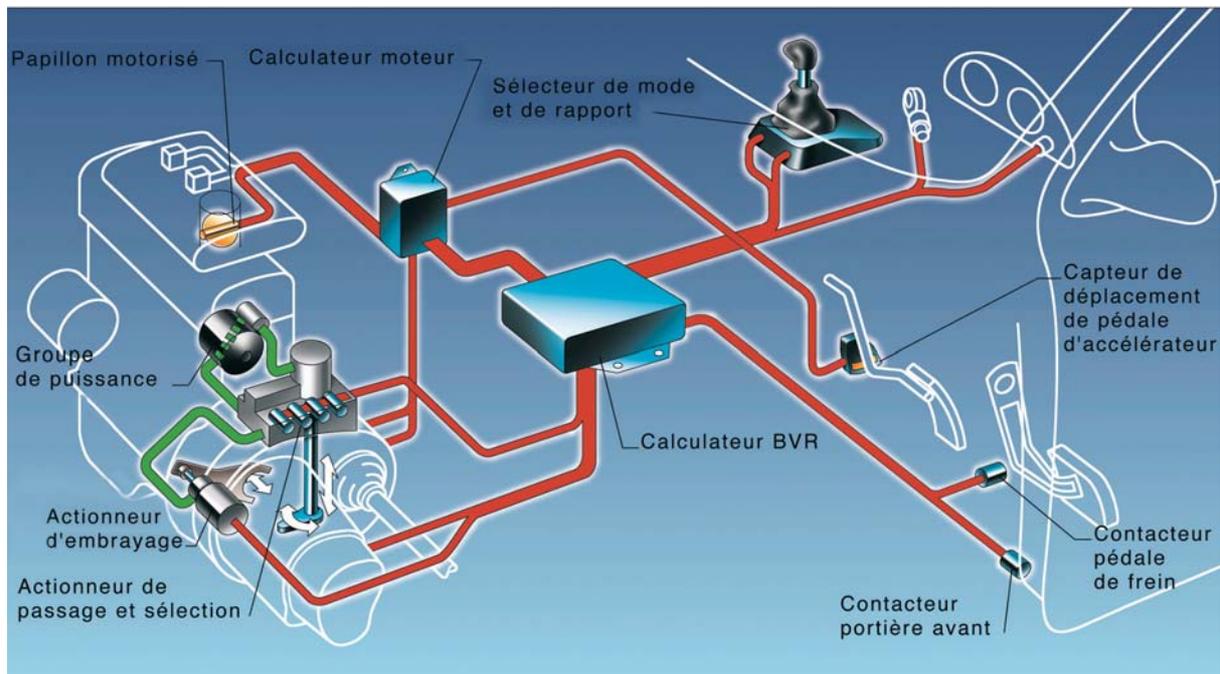
gérer l'ouverture et la fermeture de l'embrayage lors des changements de rapport. Afin d'offrir des prestations de confort aussi proches que possible de celles d'une boîte automatique, le calculateur pilote le régime et le couple du moteur lors du changement de rapport. Par ailleurs, l'optimisation du passage des rapports et le bon rendement de la boîte de vitesses robotisée permettent d'atteindre une réduction de la consommation comprise entre 2% et 10%. Comme les actionneurs ne travaillent que lors d'un changement de rapport, la consommation ●●●



●●● énergétique d'une boîte robotisée est beaucoup plus faible que celle d'une boîte automatique traditionnelle, où les vérins de commande de ses embrayages internes et le convertisseur de couple, qui remplace l'embrayage, consomment de l'énergie en permanence. Or, sur une voiture, toute consommation d'énergie se répercute sur la consommation du moteur : c'est lui qui génère la totalité de l'énergie disponible. Cette économie d'énergie se traduit par une baisse de la consommation et, par voie de conséquence, de ses émissions.

EN RÉSUMÉ >>>
 Une boîte de vitesses robotisée est une boîte «manuelle» dotée d'actionneurs électromécaniques qui changent les rapports en fonction des instructions que leur communique un calculateur en tenant compte de critères préétablis.

COMMENT ÇA MARCHE ?



RENAULT COMMUNICATION

Pour gérer le fonctionnement de la boîte, un calculateur commande des actionneurs électromécaniques (des petits moteurs électriques). La puissance de ces derniers est relativement faible. En outre, ils ne travaillent, et ne consomment de l'énergie, que durant le passage des rapports. Une fois la vitesse enclenchée, ils ne sont plus alimentés, d'où le bon rendement de ce type de boîte de vitesses. Les actionneurs électromécaniques – au nombre de deux – sont greffés sur une boîte manuelle. L'embrayage se dote, lui aussi, d'un actionneur, qui n'est sollicité que pour l'ouvrir, lors des débrayages, puis le fermer à nouveau. En quelque sorte, les actionneurs se substituent aux actions du conducteur pour passer les vitesses à sa place. Le calculateur prend la décision de changer de rapport en fonction de critères préétablis, qu'il possède en mémoire, pour optimiser le fonctionnement du moteur. La boîte robotisée se comporte ainsi, pour le choix du rapport à utiliser, comme une

boîte automatique. Cependant, comme la base mécanique d'une boîte robotisée est identique à celle d'une boîte manuelle, il est indispensable de débrayer lors de chaque changement de rapport. Opération que réalise le calculateur en commandant l'embrayage par l'intermédiaire de son actionneur électromécanique. Enfin, la boîte robotisée permet une conduite en mode tant manuel qu'automatique. Dans tous les cas, elle s'oppose aux sous- et surrégimes – protégeant ainsi le moteur – ainsi qu'au calage, lors d'un démarrage en côte par exemple.



Le common rail

> La technologie common rail, ou rampe commune, permet de **scinder les fonctions de mise sous pression du carburant et d'injection**. Sa meilleure vaporisation et son dosage précis permettent d'améliorer le rendement du moteur tout en limitant ses émissions polluantes.



> L'ESSENTIEL

La finesse de la vaporisation du carburant dans les chambres de combustion du moteur est directement liée à sa pression et au petit diamètre des trous de la buse. La fonction du common rail est de stocker temporairement le carburant sous très haute pression, près de 1 800 bars, juste en amont des injecteurs.

Cette énorme pression leur permet de générer des gouttelettes de carburant extrêmement fines, dont le diamètre n'excède pas une vingtaine de microns. Cette finesse de vaporisation améliore la qualité du mélange de l'air et du carburant, favorisant un meilleur rendement de combustion,

ce qui se traduit, d'une part, par une amélioration des performances du moteur, et, d'autre part par une diminution de ses émissions.

Par ailleurs, la maîtrise des quantités injectées et la multi-injection que permet l'utilisation d'injecteurs électriques associés au common rail améliorent les émissions et le bruit.

EN RÉSUMÉ >>>

Par les pressions de carburant extrêmement élevées qu'il permet d'obtenir associées à des trous de buse de faible diamètre, le common rail permet la micro-vaporisation du carburant, ce qui améliore la combustion et, par voie de conséquence, le rendement du moteur tout en minimisant les émissions.



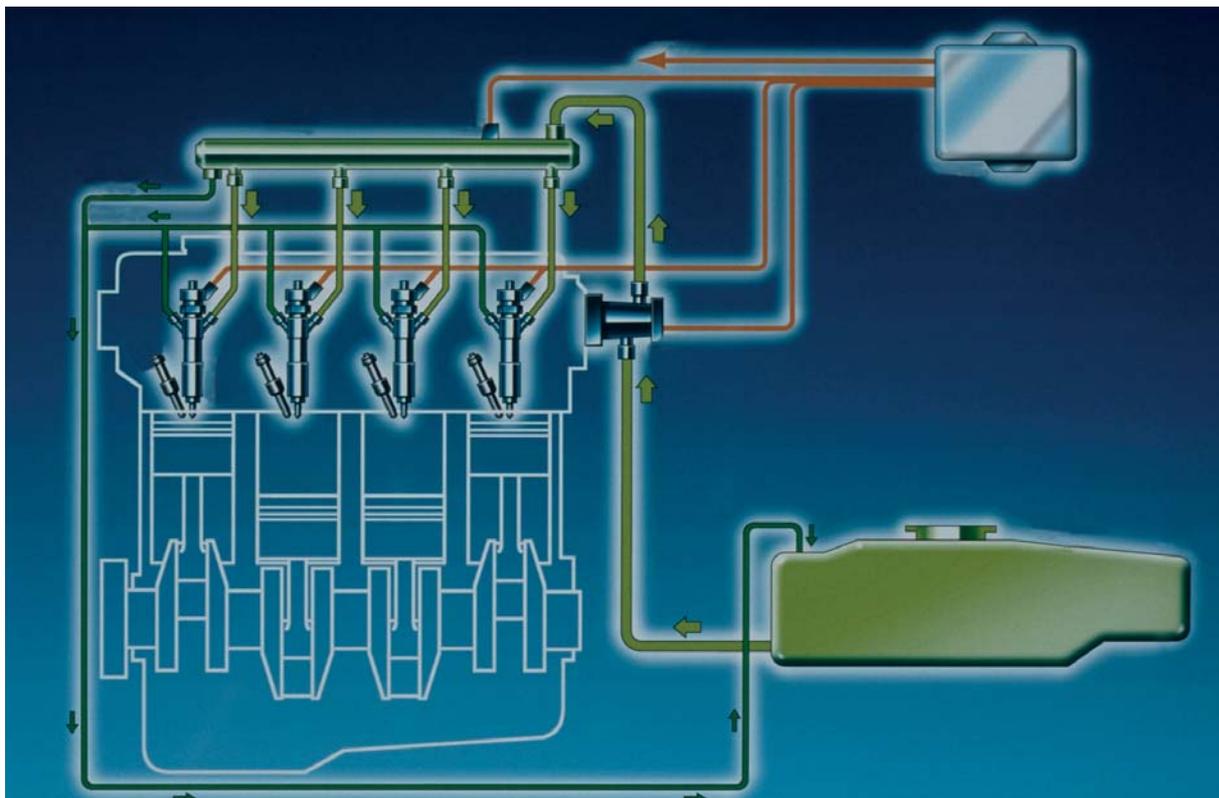
COMMENT ÇA MARCHE ?

Le common rail se présente sous la forme d'un tube cylindrique de forte section, ou d'une sphère, qui achemine le carburant à proximité de chaque injecteur. Il constitue un «réservoir» de carburant à très haute pression. Celle-ci est issue d'une pompe mécanique capable de délivrer une pression qui peut atteindre jusqu'à 1 800 bars (deux tonnes par centimètre carré). Le débit demandé à la pompe est défini par un régulateur et contrôlé par un capteur de pression, logé sur le common rail, qui contrôle en permanence son niveau de pression.

Contrairement à l'injection traditionnelle, où la brusque élévation de pression provoquait l'ouverture des injecteurs, le système common rail s'accompagne obligatoirement d'injecteurs électriques qui se comportent comme des

électrovannes qui s'ouvrent et se ferment en fonction d'impulsions électriques que leur applique le calculateur d'injection. Très rapides et précis dans leur fonctionnement, les injecteurs électriques permettent un dosage parfait de la quantité de carburant. Ils sont également capables de travailler en multi-injection pour optimiser la combustion dans les chambres du moteur tout au long de son cycle de fonctionnement (voir les fiches injecteurs piézo et multi-injection Diesel).

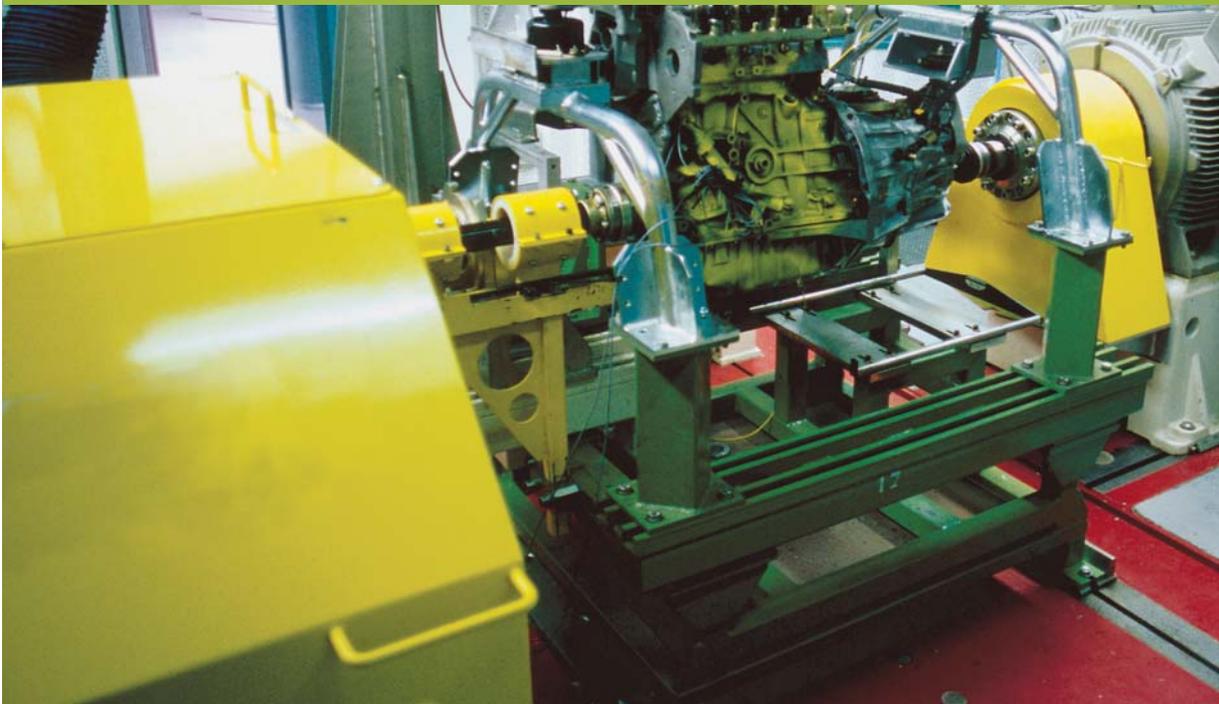
Enfin, la pression stable que garantit le common rail assure à la vaporisation une finesse constante. La qualité de la combustion du mélange est ainsi optimale quelle que soit la puissance demandée au moteur. Un point capital pour lui offrir des performances maximales.





Le contrôle **moteur**

Le moteur est la seule source d'énergie d'une voiture. Optimiser son rendement est donc crucial puisqu'il fixera sa consommation pour une puissance disponible donnée. De plus, les émissions de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone) que rejette un **moteur thermique** sont liées à sa consommation. Plus un moteur possédera un rendement élevé, mieux il respectera la planète, ne serait-ce qu'en exploitant au mieux ses ressources énergétiques.



RENAULT COMMUNICATION

L'ESSENTIEL

Le contrôle moteur doit en permanence trouver le juste équilibre entre réduction de la consommation de carburant et réduction des émissions. En effet, les points d'optimisation de ces deux entités sont distincts, et un compromis s'impose. Le calculateur du moteur le fait en prenant compte, en permanence, des mesures réalisées par de multiples capteurs qui

l'informent sur les souhaits du conducteur et sur les conditions du moteur. C'est à partir d'eux qu'il prend des décisions, en temps réel, et qu'il agit sur des dizaines de paramètres qui, in fine, contrôlent directement le fonctionnement du moteur. Parmi ces paramètres se trouvent : le débit de carburant, l'avance à l'allumage, la pression de l'air d'admission, le taux de recirculation des gaz d'échappement, etc. C'est ainsi que, entre autres paramètres, la richesse du mélange air-carburant est contrôlée, ce qui détermine le rendement du moteur et les émissions à l'échappement (composition et teneur des différents gaz ou composants).

EN RÉSUMÉ >>>

Les émissions d'un moteur évoluent en fonction de multiples paramètres. Le rôle du contrôle moteur est donc d'optimiser en permanence son fonctionnement tout en gérant des dispositifs complémentaires pour réduire au minimum les émissions.



COMMENT ÇA MARCHE ?



Le calculateur est relié à un système simulant le moteur, le «hardware in the loop».



RENAULT COMMUNICATION

Le contrôle moteur permet un dialogue permanent entre les multiples calculateurs pour optimiser le fonctionnement du moteur.

Le calculateur du contrôle moteur est un des nombreux calculateurs présents dans le véhicule et il gère, en temps réel, une cinquantaine de paramètres de fonctionnement du moteur. Pour ce faire, il analyse en permanence les signaux envoyés par les divers capteurs (position de l'accélérateur, régime moteur, occurrence de cliquetis, pressions, températures, etc.), décide du réglage optimal du moteur et agit sur les multiples actuateurs (papillon des gaz, injecteurs de carburant, vanne de recirculation des gaz d'échappement, position des ailettes du turbocompresseur, etc.), qui mettront le moteur dans les conditions qu'il a choisies. C'est ainsi que, entre autres paramètres de fonctionnement, le calculateur moteur agit sur la richesse (rapport de masse entre air et carburant présents dans la chambre de combustion), le paramètre clé qui autorisera le pot catalytique d'un moteur à essence à transformer, dans des conditions optimales, les gaz polluants – CO (monoxyde de carbone), HC (hydrocarbures imbrûlés) et NOx (oxydes d'azote) – en gaz non toxiques : vapeur d'eau et CO₂. Dans le cas d'un moteur Diesel équipé de filtre à particules, c'est aussi le contrôle judicieux et précis de la richesse qui commandera l'augmentation de la température des gaz d'échappement dans les phases périodiques de régénération du filtre (combustion des suies).

Le dialogue entre les calculateurs du véhicule

Le calculateur du contrôle moteur interagit aussi avec la vingtaine d'autres calculateurs présents dans le véhicule, en envoyant et en recevant des consignes, en permanence et en

temps réel, par le biais du réseau multiplexé CAN. C'est ainsi que, dans le cas d'un véhicule équipé de boîte automatique (BVA) ou robotisée (BVR), il dialogue avec le calculateur de la boîte, afin de contrôler, par exemple, de manière fine, le régime du moteur et son couple instantané. Il évite de cette façon les à-coups désagréables lors des changements de rapport de boîte, en procurant un meilleur agrément de conduite.

Dans le cas du système d'antipatinage des roues (ASR), fonction qui est contrôlée par un calculateur spécifique (cf. fiche), des informations sont échangées en permanence avec le calculateur moteur, afin qu'il réduise le couple moteur dès que le patinage des roues motrices du véhicule est détecté. Certains accessoires, tels que la climatisation (cf. fiche), avertissent également le calculateur d'injection de la puissance qu'ils prélèvent, afin qu'il modifie, ici encore, son comportement, notamment pour la gestion du régime de ralenti.

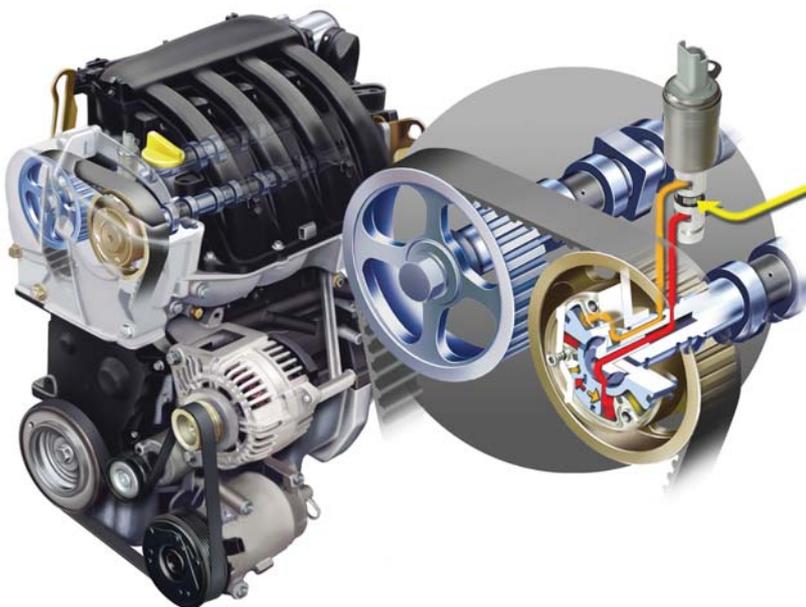
Même le système de sécurité passive est en connexion permanente avec le calculateur moteur. De cette façon, le capteur de déclenchement des airbags, capable de détecter une éventuelle décélération rapide du véhicule, demande au calculateur moteur de couper immédiatement la pompe à carburant lors d'une collision violente du véhicule.

Le contrôle moteur se base donc sur un dialogue permanent entre une vingtaine de calculateurs du véhicule pour optimiser le fonctionnement du moteur, tant en termes de rendement qu'en termes d'émissions, tout en préservant le confort de conduite.



Le décaleur d'arbre à cames

Le décaleur d'arbre à cames optimise le fonctionnement du moteur pour chaque régime en modifiant la position d'ouverture et de fermeture des soupapes par rapport à la position angulaire du vilebrequin. Il offre ainsi au moteur du couple dans les bas régimes et de la puissance dans les tours. En outre, il minimise les émissions et la consommation.



Arrivée circuit d'huile
Retard
Avance

L'ESSENTIEL

Sur les moteurs traditionnels, les positions d'ouverture et de fermeture des soupapes sont figées par rapport à la position angulaire du vilebrequin. Elles sont donc optimisées pour un régime donné, mais, comme elles ne prennent pas en compte l'influence de la vitesse de propagation du front de flamme, elles restent plus approximatives aux autres régimes. Le décaleur d'arbre à cames fait donc varier les instants d'ouverture et de fermeture des soupapes par rapport à la position angulaire du vilebrequin en fonction du régime moteur et de sa charge.

Lorsque le moteur dispose d'un double arbre à cames en tête, le décaleur peut s'implanter soit sur l'admission, soit sur l'échappement. L'optimisation de l'admission améliore la puissance du moteur à haut régime, sa consommation et sa dépollution, augmente son couple à pleine charge et se substitue même à la valve EGR en augmentant le croisement entre les soupapes d'admission et d'échappement. Celle de l'échappement réduit la consommation comme la dépollution à charge partielle. Si le

moteur ne possède qu'un unique arbre à cames, il n'est plus possible de jouer sur le croisement des soupapes. Le même décalage de position angulaire, par rapport au vilebrequin, est appliqué à l'admission et à l'échappement. Cependant, outre le fait que le décaleur suffit pour s'affranchir de la valve EGR, il réduit la consommation du moteur aux charges partielles.

EN RÉSUMÉ

En ajustant les instants d'ouverture et de fermeture des soupapes au régime et à la charge, le décaleur d'arbre à cames optimise le fonctionnement du moteur et lui offre plus de couple à bas régime et plus de puissance aux régimes élevés tout en réduisant l'apparition de polluants.



COMMENT ÇA MARCHE ?

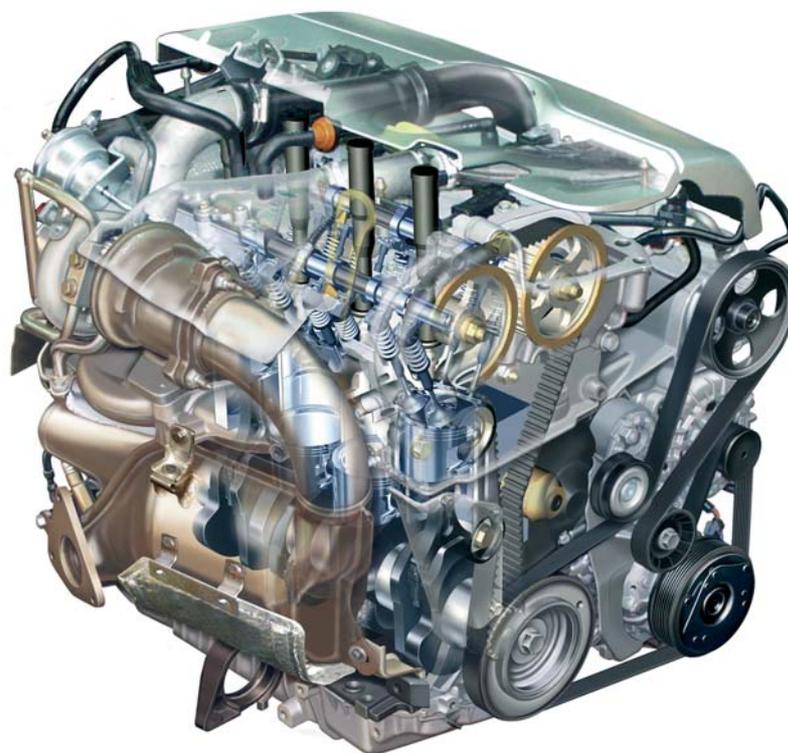
Deux types de décaleurs d'arbre à cames existent. Le premier se base sur un piston associé à une denture hélicoïdale. Celle-ci se situe sur la face interne de la poulie de la courroie de distribution. Dans cette denture se loge un engrenage, solidaire de l'arbre à cames. Le piston permet de déplacer axialement cet engrenage par rapport à la denture hélicoïdale de la poulie, un peu comme si on poussait un tire-bouchon. Lorsque le piston déplace l'engrenage par rapport à la denture hélicoïdale, il pivote donc légèrement. Ainsi, en fonction de sa position, un décalage angulaire, plus ou moins important, apparaît entre l'arbre à cames et la poulie et, par voie de conséquence, entre l'arbre à cames et le vilebrequin. Cependant, ce dispositif complexe fait de plus en plus place au décaleur dit à palettes. Ici encore, il se loge dans la poulie d'arbre à cames. Un rotor sépare des chambres, des cavités,

aménagées dans le corps de la poulie. En injectant de l'huile sous pression soit sur l'une des faces des séparateurs qu'il forme, soit sur l'autre, le rotor tend à pivoter soit dans une direction, soit dans l'autre. On parle ainsi de chambres «avance» et de chambres «retard» en fonction du sens du décalage qu'elles induisent sur l'arbre à cames. C'est en appliquant de l'huile sous pression à l'une ou l'autre de ces chambres, par l'intermédiaire d'une électrovanne, que le calculateur pilote le décalage de l'arbre à cames. Suivant les applications, ce fonctionnement peut s'effectuer soit en tout ou rien soit en continu. Dans le premier cas, deux valeurs extrêmes de décalage sont disponibles. Si le système travaille en mode continu, le décalage peut alors prendre une valeur quelconque entre ces deux positions extrêmes pour optimiser encore le fonctionnement du moteur.



Le downsizing

➤ L'idée de base du downsizing est de **réduire la cylindrée d'un moteur tout en préservant ses performances**. Une opération qui vient directement accroître son rendement tout en réduisant ses émissions de polluants.



RENAULT COMMUNICATION

➤ L'ESSENTIEL

Plus la cylindrée d'un moteur est élevée, plus il est gros. Une affirmation qui ne surprendra personne. Sa taille a un impact direct sur ses performances. En effet, plus les pièces en mouvement du moteur possèdent une taille, et donc une masse, importante, plus leur inertie est élevée. Au niveau des pistons à course alternative, entre autres, ceci se traduit par une forte dépense d'énergie pour inverser le sens de déplacement à chaque demi-tour du moteur. De plus, grâce à la faible inertie de ses pièces en mouvement, un moteur de petite cylindrée peut tourner plus vite qu'un moteur plus volumineux. Comme la puissance que délivre un moteur est fonction du produit de son couple par sa vitesse de rotation, toute augmentation de celle-ci permet de gagner en puissance. Par ailleurs, les frictions internes d'un moteur sont directement liées aux dimensions des pièces en contact. Ici encore, plus le moteur est gros, plus les surfaces en contact sont importantes, plus les frottements sont élevés et plus ils dépensent inutilement l'énergie lors de son fonctionnement. Or, cette énergie provient directement

du carburant. Donc, toute perte d'énergie se traduit par un accroissement de la consommation. En outre, il est beaucoup plus difficile de maîtriser parfaitement la combustion d'un grand volume de mélange. Des phénomènes d'hétérogénéité peuvent apparaître. Outre une perte de rendement du moteur, ils se traduisent par une augmentation de ses émissions polluantes. Enfin, le poids même du moteur vient grever les performances du véhicule et sa consommation. Autant de points qui prèchent en faveur du downsizing.

EN RÉSUMÉ ➤➤

Le downsizing consiste à réduire la cylindrée d'un moteur tout en préservant ses performances. Turbocompresseur et injection directe permettent d'y parvenir.



COMMENT ÇA MARCHE ?

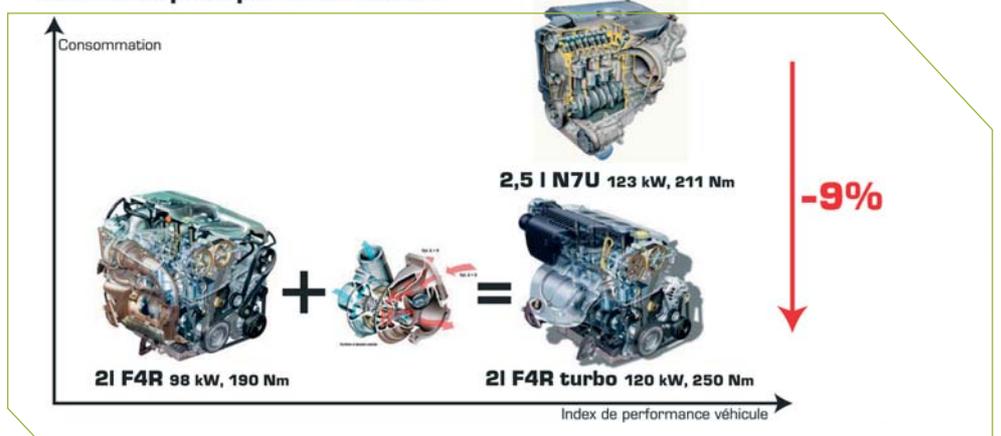
Dans un moteur à essence ou Diesel, c'est l'explosion ou la combustion du mélange qui produit la force motrice.

Plus la quantité de mélange mise en jeu est importante, plus l'énergie dégagée est élevée. Qui plus est, plus la cadence à laquelle se succèdent ces phases motrices est élevée, plus le moteur produira d'énergie en un laps de temps donné. Tout cela, en théorie, équivaut à dire que plus la cylindrée d'un moteur sera élevée et plus il tournera vite, plus la puissance qu'il délivrera sera grande. Mais attention, si jusqu'ici la cylindrée était synonyme de quantité de mélange que pouvait accepter le moteur lors de chaque admission, le downsizing vient modifier cette notion. Si le downsizing est favorable à une élévation du régime de fonctionnement du moteur par réduction de l'inertie de ses pièces en mouvement, il va, en revanche, à l'encontre du volume de mélange admissible par les cylindres.

Cependant, le turbocompresseur permet de résoudre ce problème. En augmentant la pression de l'air à l'entrée du moteur, il permet d'appliquer à chaque cylindre un volume de mélange supérieur à celui qu'il accepterait sans cette précompression. De plus, les conditions dans lesquelles le mélange explose, ou brûle, et son dosage air-carburant interviennent dans la quantité d'énergie que dégage cette opération. Ici, l'injection directe permet de maîtriser très précisément ces conditions, d'où une optimisation du rendement du moteur.

Ainsi, un moteur à essence de 2,5 l, capable de délivrer une puissance 123 kW et un couple de 211 N.m, peut être remplacé par un moteur de 2 l turbo. Celui-ci délivre 120 kW avec un couple de 250 N.m, donc des prestations équivalentes, tout en offrant une réduction de consommation de 9%. C'est une illustration du principe du downsizing.

Schéma de principe (moteur essence)



POUR EN SAVOIR PLUS <http://www.planeterenault.com/car.php?id=4731>



L'effet de serre

➤ L'effet de serre est un phénomène naturel sans lequel la vie ne pourrait pas exister sur notre planète. Cependant, depuis l'ère industrielle, **l'activité humaine tend à augmenter ce phénomène**, essentiellement par accroissement des rejets de CO₂, au risque de provoquer un bouleversement climatique.



CORBIS

➤ L'ESSENTIEL

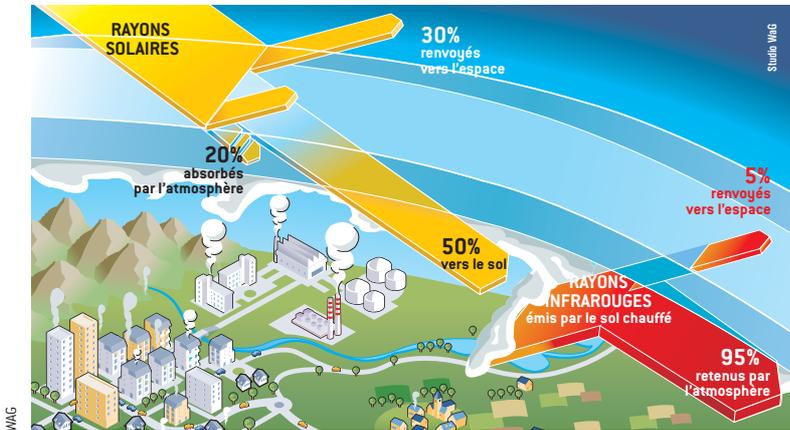
Sans l'effet de serre, la température moyenne de la Terre serait de -18°C , contre $+15^{\circ}\text{C}$ actuellement. Ce phénomène est lié au fait que le rayonnement infrarouge que dégage la surface de la Terre chauffée par les rayons du soleil reste «piégé» par l'atmosphère au lieu de repartir dans l'espace. On peut comparer cet effet à celui d'une serre, qui, grâce à la présence de ses vitrages, permet à la lumière de parvenir jusqu'aux cultures qu'elle contient mais piège en son sein les infrarouges. Sa température interne devient ainsi nettement supérieure à celle de l'air qui l'environne. Cette similitude a donné son nom à l'effet de serre. Il est lié à la présence de gaz spécifiques dans l'atmosphère. On parle alors de gaz à effet serre. Parmi eux, le principal est le gaz carbonique. Or, l'effet de serre est directement lié à sa quantité. Depuis l'avènement de l'ère industrielle, le taux de gaz carbonique tend à grimper en flèche. L'effet de serre ne cesse donc de se renforcer. A terme, si aucune action n'est menée pour limiter les rejets de gaz carbonique d'origine humaine, il pourrait induire une augmentation de la température moyenne comprise entre $1,5^{\circ}\text{C}$ et 6°C . Ces valeurs peuvent paraître faibles

dans l'absolu, mais elles sont susceptibles de provoquer de graves bouleversements climatiques. On évoque fréquemment la fonte des calottes polaires et celle des glaciers, qui pourraient conduire à la montée du niveau des mers. Bien d'autres effets moins spectaculaires, mais tout aussi redoutables, sont à craindre. L'agriculture pourrait se trouver affectée avec la désertification de zones cultivables. Sécheresses, vagues de chaleur ou violentes tempêtes sous des latitudes où elles étaient, jusqu'alors, inexistantes, feraient aussi partie des conséquences d'une remontée de la température moyenne de notre planète.



COMMENT ÇA MARCHE ?

1 UN PHÉNOMÈNE NATUREL



En piégeant une partie des infrarouges émis par la Terre, l'atmosphère joue quelque peu le rôle d'une serre, d'où l'appellation effet de serre.

Lorsque les rayons du soleil atteignent la Terre, 30% d'entre eux sont directement réfléchis vers l'espace par les hautes couches de l'atmosphère. Celle-ci en absorbe 20% et les 50% restants atteignent le sol. Sous leurs effets, il s'échauffe et convertit ainsi la lumière visible en rayonnement infrarouge. Or, si les gaz à effet de serre présents dans la haute atmosphère sont transparents à la lumière visible, ils agissent comme un miroir quasiment parfait pour les infrarouges. Seuls

5% d'entre eux parviennent à les traverser pour s'échapper vers l'espace. Et 95% des infrarouges se trouvent confinés dans les basses couches de l'atmosphère. Reste que cet effet de miroir est directement lié à la quantité de gaz à effet de serre présents dans la haute atmosphère. Leur accroissement conduit à une augmentation de l'effet de serre et, par voie de conséquence, à une augmentation de la température moyenne à la surface de notre planète.

2 LES GAZ IMPLIQUÉS

Ozone 7% : son origine naturelle est liée à l'activité électrique dans l'atmosphère, orages entre autres. Mais il se forme également à la suite de réactions photochimiques, sous l'effet de la lumière solaire, de gaz tels que les oxydes d'azote ou les composés organiques volatils, comme les hydrocarbures présents dans les imbrûlés. L'ozone est à l'origine des pics de pollution durant les mois d'été.

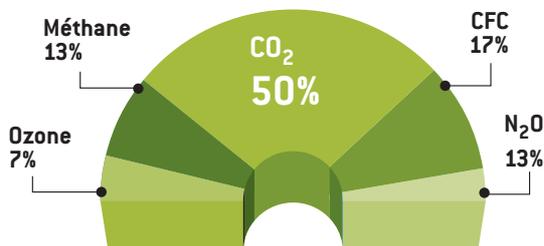
Méthane 13% : dans la nature, il est issu de la dégradation d'éléments organiques. Dans les marais, par exemple, il provient de végétaux en décomposition. La digestion des animaux en dégage aussi. Certaines filières industrielles, comme l'élevage intensif, le traitement des déchets ou la fabrication de pâte à papier, sont également génératrices d'importantes quantités de méthane.

Gaz carbonique (CO₂) 50% : ses sources sont multiples, puisque toute combustion de tout élément d'origine organique génère du CO₂. Ce point explique que l'ensemble des industries mais aussi nos moyens de chauffage et nos véhicules en génèrent de très grandes quantités. C'est, de loin, le plus préoccupant des gaz à effet de serre, puisque sa production, dans notre société moderne, est omniprésente.

Chlorofluorocarbures (CFC) 17% : ces gaz artificiels ont commencé à être fabriqués vers 1930, puis massivement utilisés dans tous les dispositifs basés sur un système de pompe à chaleur, jusqu'à leur interdiction en 1995. Ils étaient la base des réfrigérateurs et des climatiseurs. Ils entraient aussi dans la confection des bombes aérosols, du polystyrène expansé et de certains solvants.

Protoxyde d'azote (N₂O) 13% : il se forme lors de combustions à très hautes températures. Dans la nature, l'activité volcanique peut en produire. Cependant, de nos jours, ce sont les moteurs qui en sont la source principale.

Contribution de l'activité humaine à l'effet de serre



Enfin, si les réactions chimiques complexes qui ont lieu dans notre atmosphère finissent par éliminer ces gaz, certains d'entre eux hypothèquent plus lourdement notre avenir que d'autres. Par exemple, si, au bout de quatre mois, 66% de l'ozone formé lors d'un pic de pollution s'est résorbé, il faudra plus de 120 ans pour réduire dans les mêmes proportions du protoxyde d'azote et de 50 à 200 ans pour du gaz carbonique.



Les énergies alternatives

Les substituts du pétrole capables de répondre aux contraintes d'une utilisation sur un véhicule sont peu nombreux. Chacun, outre les atouts et les problèmes nouveaux que soulève son exploitation, **impacte différemment la technologie des véhicules comme l'environnement.**



RENAULT COMMUNICATION

➤ L'ESSENTIEL

Alléger la dépendance vis-à-vis du pétrole fait partie des objectifs de très nombreuses études. Certaines solutions sont déjà opérationnelles, d'autres sont progressivement introduites, d'autres, enfin, ne seront applicables que dans un futur plus lointain. Il est possible de distinguer trois grandes familles de ressources énergétiques : les énergies fossiles, les énergies renouvelables et celles susceptibles d'être issues de sources multiples.

1 LES ÉNERGIES FOSSILES

Leurs réserves sont, par définition, limitées. Le GPL (gaz de pétrole liquéfié) se compose de butane et de propane. Il est issu du raffinage du pétrole ou provient directement de gisements

naturels tels que ceux de la mer du Nord. Vu du véhicule, sa combustion dégage moins de CO₂ que celle de l'essence. Pour les véhicules, son utilisation requiert la pose d'un réservoir spécifique, capable de résister à la pression qu'impose son stockage sous forme liquide, et une légère modification du circuit d'alimentation du moteur. L'utilisation du GPL est déjà bien répandue en France, où plus de 1 800 stations-service le proposent à leur pompe.

Le GNV (gaz naturel pour véhicules) provient de gisements naturels. Il est stocké à une pression de 200 bars, ou liquéfié et stocké dans des réservoirs spéciaux. Son utilisation est actuellement beaucoup moins répandue que celle du GPL. Dans certains pays comme l'Argentine et l'Italie, il est ●●●



●●● utilisé pour les véhicules particuliers. En France, il s'adresse essentiellement à des flottes captives disposant de points d'alimentation dédiés. Il possède des avantages environnementaux plus marqués que le GPL.

Le charbon et les schistes bitumeux, extraits de mines, permettent de produire du gazole de synthèse directement exploitable par les véhicules. Bien que leur coût d'extraction soit élevé, leur intérêt réside dans l'importance des gisements disponibles, qui constituent une réserve estimée à quatre cent cinquante ans. En revanche, ce gazole de synthèse n'offre aucun gain vis-à-vis de l'effet de serre par rapport au pétrole traditionnel tant que le gaz carbonique (CO₂) produit lors de la synthèse n'est pas «reséquestré» en nappe géologique profonde.

2 LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

La filière chargée d'espoir. Les biocarburants sont essentiellement issus de cultures spécifiques. Le colza, entre autres, est capable de fournir des esters méthyliques d'acides gras (EMAG) qui peuvent déjà être introduits, à hauteur de 5%, dans le gazole qu'utilisent les véhicules Diesel. Certains végétaux riches en sucre ou en amidon produisent également de l'éthyltertiobutyléther (ETBE), aux caractéristiques favorables à la qualité des essences et bénéfiques vis-à-vis de l'effet de serre. Si l'impact de ces carburants sur l'émission de CO₂ est modeste, on pourra néanmoins considérer qu'ils ne font que rejeter dans l'atmosphère le gaz carbonique prélevé par les plantes lors de leur développement. Le bilan global de l'opération est donc plus favorable à l'environnement que les chiffres bruts.

3 LES ÉNERGIES ISSUES DE SOURCES MULTIPLES

Des qualités environnementales liées à leurs moyens de production. L'hydrogène est, sur le papier, le carburant idéal. Lors de sa combustion, il ne dégage que de la vapeur d'eau. Il est produit soit à partir du gaz naturel, voire par électrolyse (donc à partir d'électricité), soit par extraction directe de ses molécules depuis des carburants liquides ou gazeux à l'aide d'un reformeur. Les problèmes principaux que

soulève l'hydrogène sont liés aux dangers que présentent son stockage et son utilisation. La quantité d'énergie qu'il recèle par unité de volume stocké est modeste. Ses molécules, très petites, se fauillent par le moindre interstice, ce qui peut se transformer en fuite. Très inflammable, l'hydrogène peut être à l'origine d'incendies ou d'explosions : il impose des contraintes drastiques quant au transport, au stockage, à la distribution et à l'utilisation. En ce qui concerne son intérêt environnemental, il dépend de la nature de l'énergie primaire qui a été utilisée pour le produire.

L'électricité confère aux véhicules un excellent rendement.

Son utilisation ne génère aucune émission polluante. De plus, le silence de fonctionnement des moteurs électriques diminue considérablement les nuisances sonores. Sa production est issue de très nombreuses filières, dont le nucléaire, l'éolien ou l'hydraulique pour les plus respectueuses de l'environnement. D'autres solutions, comme les centrales thermiques, ressemblent plus à un «déplacement» du problème qu'à une réelle réponse aux questions environnementales. La principale difficulté que rencontre l'électricité est celle de son stockage. Si, contrairement à celui de l'hydrogène, il ne présente pas de risque particulier, les durées de recharge des batteries actuelles ne permettent pas de faire un «plein électrique» aussi rapidement que lorsqu'il s'agit de remplir un réservoir.

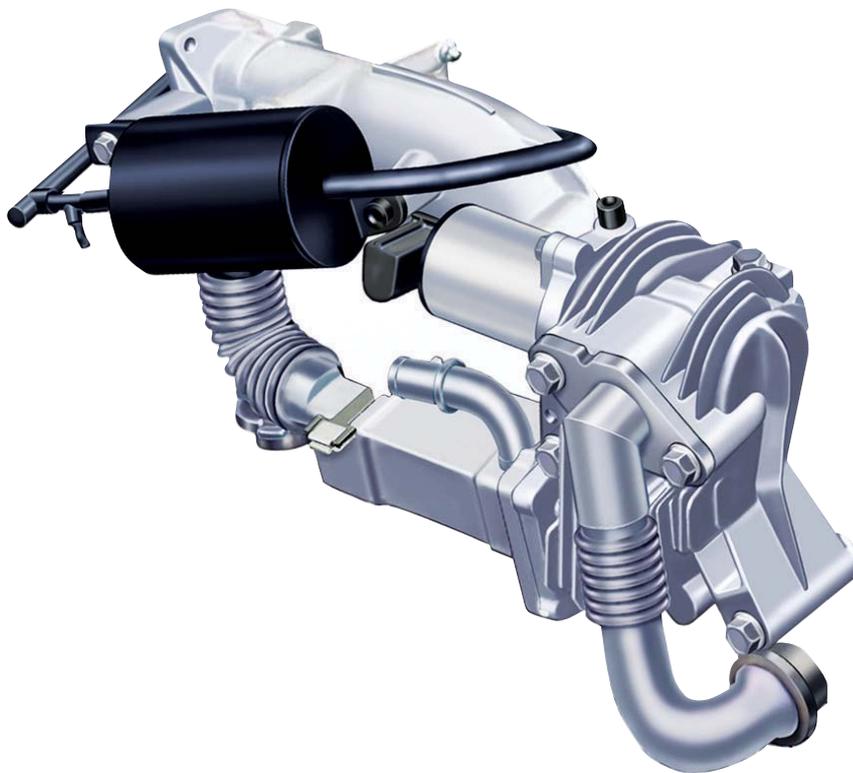
Les carburants de synthèse sont issus du gaz naturel ou de la biomasse. Leur intérêt environnemental est essentiellement lié à leur source. Provenant de la biomasse, les végétaux absorbent, durant leur croissance, le CO₂ issu de la combustion. Il y a donc «recyclage» du CO₂ sans contribution à l'effet de serre. Les carburants de synthèse pourraient constituer plus de 12% de la masse de carburants qu'utiliseront les transports terrestres en Europe d'ici à 2050 (et plus encore dans le monde).



L'EGR

(Exhaust Gas Recirculation)

Le but de l'EGR est de réduire la formation d'oxydes d'azote (NOx) dans les moteurs Diesel. Il est devenu indispensable pour respecter la réglementation en vigueur depuis la mise en place de la norme Euro 3.



RENAULT COMMUNICATION

L'ESSENTIEL

Les moteurs Diesel fonctionnent en mélange pauvre, c'est-à-dire contenant une grande quantité d'air pour une faible dose de gasoil. Ce point, associé à la température élevée qui règne dans les chambres de combustion du moteur, conduit à l'apparition d'oxydes d'azote (NOx). En réinjectant une partie des gaz d'échappement dans l'air frais que le circuit d'admission fournit au moteur, l'EGR réduit leur formation. En effet, cette recirculation des gaz d'échappement ralentit la combustion du mélange et absorbe une partie des calories. De plus, elle réduit la concentration en oxygène du mélange. Ces deux points convergent pour réduire la formation de NOx. Cependant, celle-ci se paie par un accroissement du taux de particules que dégage la combustion. Il faut donc ajuster

précisément la quantité de gaz recyclé afin de trouver le meilleur compromis entre réduction des NOx et formation de particules. Un réglage délicat puisqu'il est fonction du régime moteur, de sa charge et de la température.

EN RÉSUMÉ >>>

L'EGR se base sur une vanne commandée qui réinjecte une partie des gaz d'échappement dans le circuit d'admission du moteur. En diminuant la température de combustion, l'EGR réduit la formation de NOx.



COMMENT ÇA MARCHE ?

1 UN JUSTE ÉQUILIBRE

Une partie des gaz d'échappement est prélevée en sortie de moteur, juste en amont de la turbine du turbo. Une première vanne, dite «by pass», permet de maintenir les gaz pendant la phase d'amorçage du catalyseur et de les refroidir dès que le catalyseur est amorcé. Un moteur électrique pilote la vanne EGR et lui permet de prendre toutes les positions intermédiaires entre sa fermeture et son ouverture complète. Ainsi, le calculateur peut commander une ouverture plus ou moins importante de la vanne EGR afin de doser très précisément la quantité de gaz d'échappement réinjectée dans le circuit d'alimentation du moteur.

Cette injection s'effectue en entrée de moteur, en aval du compresseur du turbo. Un volet doseur complète l'action de la vanne EGR en limitant le débit d'air frais au profit d'une augmentation du débit d'EGR. Grâce aux données qu'il reçoit de nombreux capteurs – l'informant, entre autres, sur le débit d'air frais, la température d'admission, la pression d'admission, le régime moteur, la température d'eau et la puissance du moteur –, le calculateur ajuste en permanence la position de la vanne EGR afin de trouver le juste équilibre entre réduction des NOx et accroissement des particules.

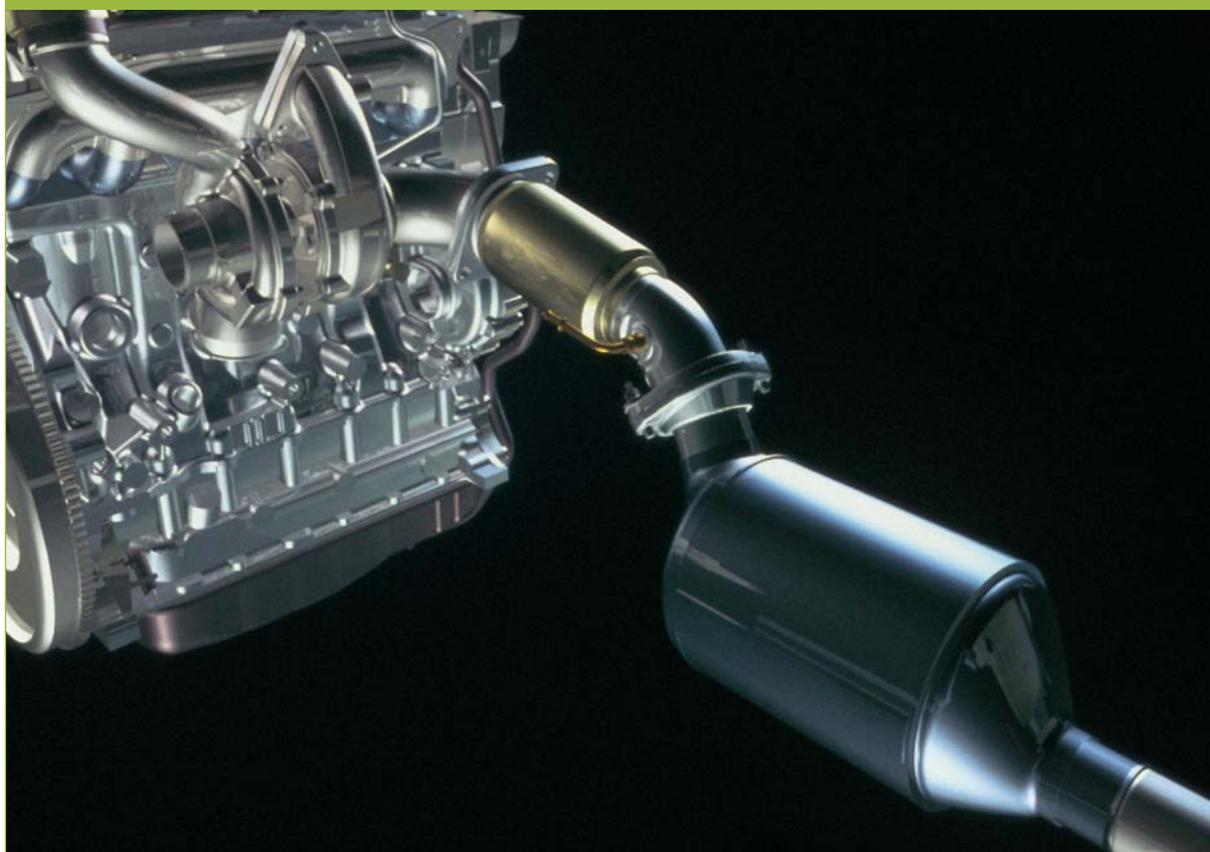
2 POUR LES MOTEURS À ESSENCE

La réduction de la richesse du mélange sur les moteurs à essence à injection directe conduit aussi à une élévation du taux de NOx. Un point particulièrement vrai sur les moteurs à charge stratifiée (cf. fiche), où le mélange que traitent les chambres de combustion peut être, globalement, très pauvre. Pour réduire ce taux de polluants, eux aussi seront équipés d'une vanne EGR.



Le filtre à particules (FAP)

Dans le moteur, la combustion du mélange fournit de l'énergie mais aussi des résidus. Pour leur majeure partie, ils sont constitués de CO_2 . Cependant, il se forme aussi des particules, essentiellement constituées de carbone à l'origine de la couleur noire des gaz d'échappement. Si, sur les moteurs actuels, leur production reste limitée, elle n'est jamais totalement éliminée. La seule solution pour se débarrasser totalement des particules est de recourir à un filtre.



RENAULT COMMUNICATION

L'ESSENTIEL

Le filtre à particules est constitué d'un substrat alvéolé poreux dont le diamètre des pores est inférieur à celui des particules que rejette le moteur. En les retenant, il purifie les gaz d'échappement. Pour cela, son substrat est directement imprégné de catalyseur. Le filtre à particules est donc monté sur la ligne d'échappement, en aval du pot catalytique, et le complète, sans s'y substituer totalement. Cependant, comme tout filtre, le FAP s'encrasse rapidement, au fil des kilomètres. Pour qu'il reste efficace et qu'il ne s'oppose pas à l'évacuation des gaz d'échappement, il faut régulièrement le régénérer : une opération qui s'effectue automatiquement et reste indécélable pour le conducteur de la voiture.

EN RÉSUMÉ

Le filtre à particules débarrasse les gaz d'échappement des particules qu'ils contiennent en les retenant dans une structure microporeuse alvéolée. Il est automatiquement régénéré tous les 300 à 500 km.



COMMENT ÇA MARCHE ?

Il faut distinguer deux phases dans le fonctionnement du filtre à particules : le stockage des suies et la régénération.

Durant **la phase de stockage**, le FAP se comporte comme un filtre traditionnel. Il accumule les suies au niveau des alvéoles que porte son substrat pour ne rejeter qu'un gaz épuré. Un capteur de pression mesure l'accumulation des particules en détectant la variation de perméabilité du substrat poreux et communique cette information au calculateur de gestion du FAP. Dès que celui-ci détecte que le seuil de saturation du filtre est atteint, ce qui survient après un parcours de 300 à 500 km, il déclenche le processus de régénération.

La phase de régénération consiste à porter le FAP à très haute température. Pour cela, le calculateur ajoute au cycle d'injection une, voire deux post-injections absentes en mode d'injection normal. Cette modification du cycle d'injection lors de la phase de régénération du FAP est totalement «transparente» pour l'utilisateur car le système ajuste en permanence le couple en fonction du besoin «pédale» et donc de la pression qu'exerce le conducteur sur l'accélérateur. Si le FAP est essentiellement destiné aux véhicules

dotés d'un système common-rail multi-injection, il peut également être présent sur des moteurs équipés d'injecteurs à pompe, bien qu'ils soient moins flexibles en termes de multi-injection. L'atout de post-injections entraîne une forte augmentation de la température des gaz d'échappement. Ils portent alors le substrat poreux de FAP à plus de 570 °C.

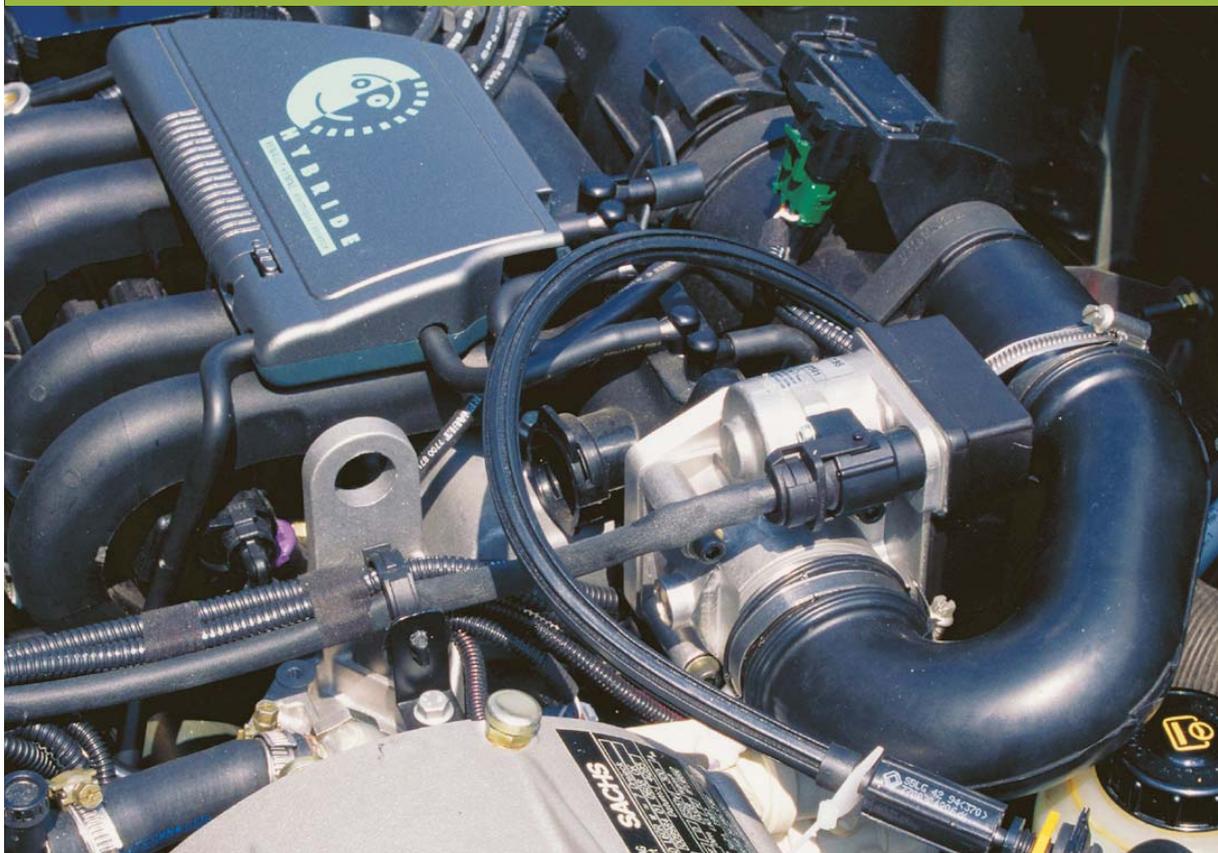
Soumises à cette température, les suies, essentiellement composées de carbone, se transforment en gaz carbonique et en vapeur d'eau. Il s'agit d'une postcombustion contrôlée. Ces gaz traversent facilement la paroi poreuse du FAP et sont éliminés par le pot d'échappement. Ce cycle de régénération dure une vingtaine de minutes. A son issue, le calculateur du système de multi-injection retrouve son fonctionnement normal.

La régénération du FAP modifie légèrement le couple moteur en raison de l'accroissement de la valeur de la post-injection proche, appelée aussi seconde postinjection. Pour compenser cet effet et rendre cette phase imperceptible pour le conducteur, le calculateur d'injection modifie aussi légèrement les valeurs des autres injections élémentaires. Le comportement moteur reste ainsi inchangé.



Les hybrides

↳ Ils associent un moteur électrique et un moteur thermique, pour tirer le meilleur parti de chacun d'eux. Cette configuration permet de bénéficier, pour certains d'entre eux, de phases de conduite purement électriques, donc en mode **sans émissions**, et elle fait travailler le moteur thermique dans des conditions optimales de rendement et minimise sa consommation. Enfin, généralement, les hybrides sont capables de récupérer de l'énergie, lors du freinage ou de descentes, grâce à la réversibilité de leur moteur électrique, qui se transforme alors en générateur.



↳ L'ESSENTIEL

En associant énergie électrique et énergie mécanique, les hybrides optimisent la réduction de consommation et celle des émissions polluantes. Dans cette association, un moteur électrique et un moteur thermique se complètent. En fonction des puissances respectives de ces deux moteurs, les hybrides peuvent être classés en quatre catégories. On parle de «minimal hybrid», de «soft hybrid», de «mild hybrid» ou de «full hybrid». Enfin, moteur thermique et moteur électrique peuvent être associés suivant une architecture parallèle ou série.

EN RÉSUMÉ >>>

Un véhicule hybride associe un moteur électrique et un moteur thermique. Ceux-ci sont alternativement sollicités, voire se complètent, pour optimiser en permanence le meilleur compromis entre préservation de l'environnement et agrément de conduite.



COMMENT ÇA MARCHE

LES QUATRE CATÉGORIES

Un «minimal hybrid» possède un moteur électrique de puissance modeste. Généralement, il s'agit d'un alternodémarrreur dont la puissance ne dépasse pas 2 kW. Sa présence permet au moteur thermique de fonctionner en mode «stop & start». C'est-à-dire que, lors d'un arrêt temporaire, le moteur thermique cesse totalement de tourner. Une particularité qui réduit les émissions polluantes dans les embouteillages, par exemple. En effet, sur un véhicule traditionnel, le moteur continue à tourner au ralenti même si la voiture n'avance pas. Sur un «minimal hybrid», le moteur est coupé durant les phases d'immobilisation. Ce mode de fonctionnement permet une réduction de la consommation d'environ 4%.

Sur un «soft hybrid», l'alternodémarrreur fait place à un moteur électrique directement couplé au moteur thermique. Sa puissance est de 5 à 15 kW. Outre le mode «stop & start», qu'il assume également, il joue le rôle de booster pour le moteur thermique en lui apportant sa puissance lors des phases de reprise, où les deux moteurs délivrent conjointement leur puissance. De plus, un moteur électrique est réversible. C'est-à-dire qu'il se transforme en générateur électrique dès qu'un couple extérieur le met en rotation. Cette particularité est mise à profit sur un «soft hybrid» pour booster le freinage – en lui apportant ponctuellement un complément de puissance – et en récupérer l'énergie. Dès que la pédale de frein est actionnée, le moteur électrique devient générateur. Il applique ainsi un couple qui vient compléter l'effet des freins, et l'électricité produite est stockée dans une batterie – elle sera réutilisée ultérieurement pour booster une accélération. Ce mode de fonctionnement ouvre la porte au «downsizing» du moteur thermique, qui devient donc plus respectueux de l'environnement. Ici, le gain de consommation atteint 10 à 15%.

Un «mild hybrid» possède déjà un moteur électrique plus conséquent. Sa puissance est généralement de 10 à 15 kW.

Sa transmission offre la possibilité d'exploiter la puissance des deux moteurs soit conjointement, soit indépendamment. Ainsi, outre les fonctions précédentes, le moteur électrique d'un «mild hybrid» est capable d'assurer une traction électrique à basse vitesse. Dans les embouteillages, entre autres, lorsqu'il est question de n'avancer que de quelques mètres, seul le moteur électrique sera sollicité. Cette configuration permet un gain de consommation atteignant 20 à 25%.

Sur un véhicule «full hybrid», la puissance du moteur électrique peut atteindre 150 kW. Celui-ci est ainsi capable de se substituer totalement au moteur thermique, lors de trajets urbains, par exemple, en puisant son énergie dans une batterie de forte capacité, qui se recharge automatiquement durant les phases de fonctionnement du moteur thermique. Sur des trajets urbains, le véhicule peut ainsi fonctionner en mode totalement électrique.

On distingue généralement deux grandes familles d'hybrides, qui se différencient par le processus selon lequel la puissance motrice est transmise aux roues. Les types de transmissions hybrides sont nombreux, et l'avenir reste à construire.

Avec l'hybride série, la chaîne de transmission mécanique est rompue : le moteur thermique entraîne un alternateur, directement exploité par le moteur électrique.

Avec un hybride parallèle, les moteurs électrique et thermique ajoutent leurs couples. Dans ce cas, le moteur thermique peut, par exemple, entraîner le véhicule et recharger simultanément la batterie quand le moteur électrique freine.

On étudie aussi des transmissions «différentielles», dans lesquelles les moteurs thermique et électrique ajoutent leurs régimes.

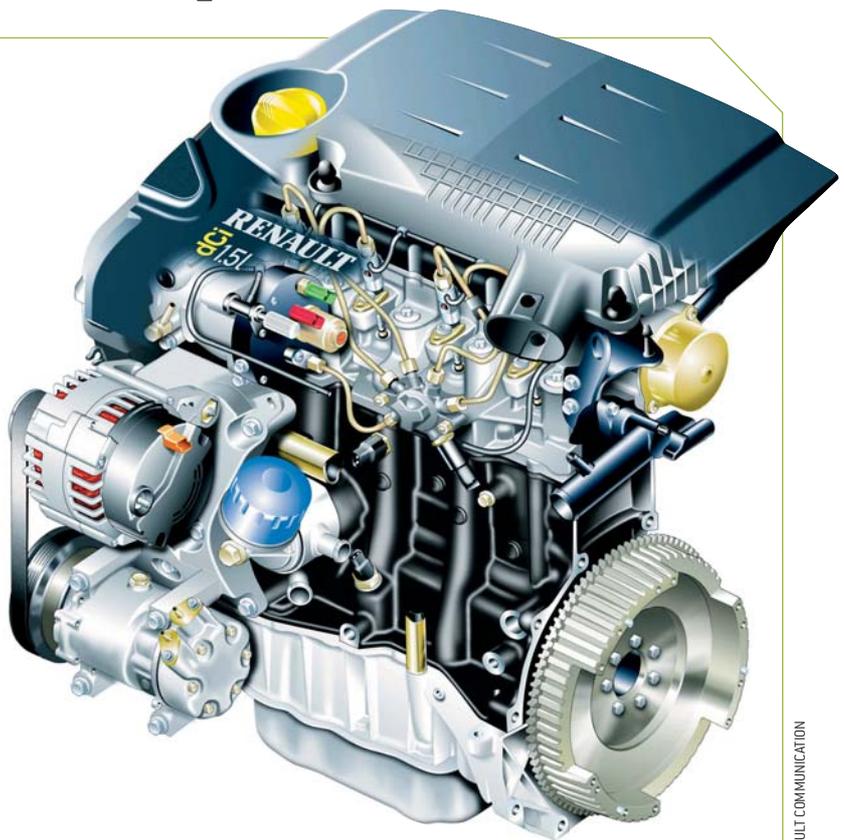
Dans tous les cas, la présence du moteur électrique laisse plus de liberté au moteur thermique, ce qui permet d'optimiser les rendements et, ainsi, de diminuer la consommation et les émissions.



Les injecteurs piézo électriques

> Ultrarapides, ils permettent de doser très précisément les quantités de carburant injectées.

Commandés par des impulsions électriques issues du calculateur de gestion du moteur, ils fonctionnent à la manière d'électrovannes, en s'ouvrant et se refermant très rapidement pour vaporiser dans les chambres de combustion du moteur la quantité exacte de carburant que fixe le calculateur d'injection.



RENAULT COMMUNICATION

> L'ESSENTIEL

Pour tirer le meilleur parti d'un moteur, qu'il soit à essence ou Diesel, il est capital d'ajuster en permanence les quantités de carburant qui lui sont fournies en fonction de multiples paramètres comme son régime, la température ou le couple demandé. De la qualité de cette gestion résulteront le bon rendement du moteur et la diminution du taux d'imbrûlés. Le calculateur d'injection a donc pour mission, en exploitant les données que lui transmettent des capteurs et des sondes, de veiller à cette optimisation. Cependant, il ne

«sait» gérer que des courants électriques. Pour qu'il puisse intervenir sur le moteur, il faut donc passer par un élément électromécanique qui joue alors le rôle d'«interface» entre l'électronique du calculateur et la mécanique du moteur. C'est ici qu'interviennent les injecteurs électriques, en se comportant comme des électrovannes qui, en s'ouvrant, vaporisent le carburant entre le réservoir de carburant sous pression que constitue le common rail et les chambres de combustion du moteur.

EN RÉSUMÉ >>>

Les injecteurs électriques se comportent comme des électrovannes, laissant ou non passer le carburant, commandées par le calculateur d'injection. Très rapides, ils permettent d'ajuster la quantité de carburant pour optimiser le rendement du moteur.



COMMENT ÇA MARCHE ?

Comme tous les autres injecteurs, les injecteurs électriques se basent sur une aiguille qui, par ses déplacements, commande leur ouverture et, donc, la vaporisation du carburant au travers de petits trous dans la buse. La différence se joue au niveau de la gestion des mouvements de l'aiguille. Sur les injecteurs traditionnels, c'était la brusque élévation de la pression du carburant qui provoquait la montée de l'aiguille et, par voie de conséquence, l'ouverture de l'injecteur. Sur les injecteurs électriques, ce déplacement de l'aiguille est confié à un dispositif électromécanique. Leur fonctionnement n'est plus piloté par la pression mais par la levée, ce qui permet de les utiliser sur les systèmes common rail, où le carburant est maintenu en permanence à une pression très élevée.

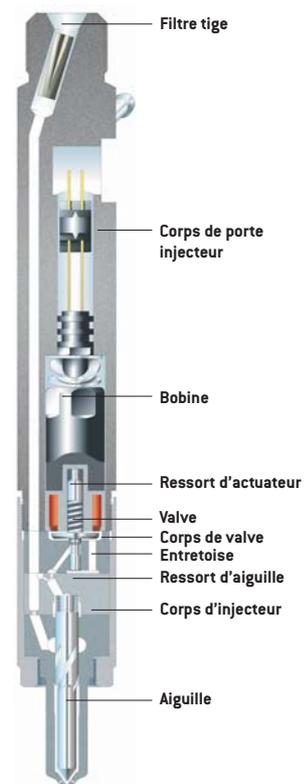
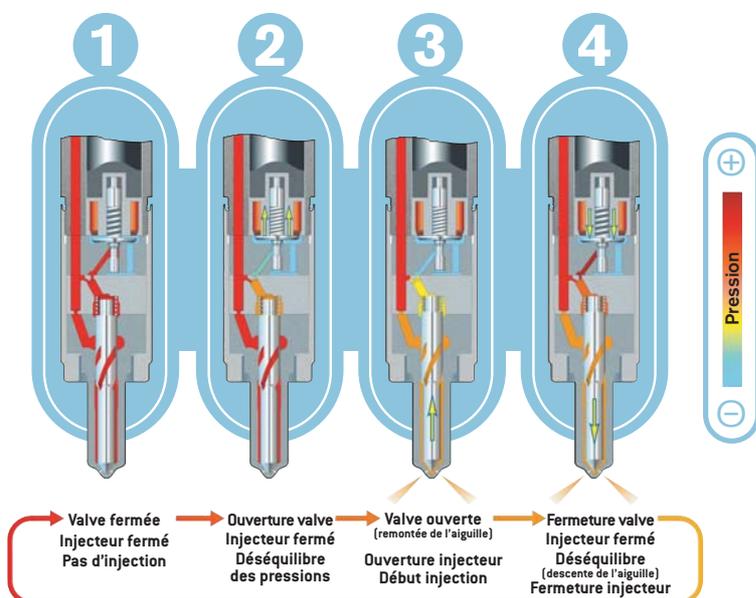
Il existe deux types d'injecteurs électriques : ceux à solénoïde et les piézo-électriques.

Le cœur des injecteurs à solénoïde est un électroaimant : le solénoïde. Pour pouvoir utiliser un électroaimant de petite taille, donc peu puissant mais rapide, les injecteurs ont recours à une astuce. En fait, l'électroaimant ne commande pas directement les mouvements de l'aiguille, qui, en se soulevant, ouvre l'injecteur. Il se contente de piloter une valve auxiliaire qui a pour effet de déséquilibrer la pression qui s'exerce à chaque extrémité de l'aiguille. Lorsque l'électroaimant est alimenté en électricité, la valve se soulève. Elle dévie le carburant se trouvant au sommet de l'aiguille et le renvoie vers le réservoir, grâce à un circuit de retour. Il apparaît alors une baisse de pression au sommet de l'aiguille. Celle-ci provoque, à son tour, le soulèvement de l'aiguille, en raison de la forte pression persistant sur son extrémité : l'injecteur s'ouvre (voir schéma ci dessous). Dès l'interruption de l'alimentation électrique du solénoïde, la

valve se referme. La pression à laquelle est soumise la partie supérieure de l'aiguille remonte et conduit à la fermeture de l'injecteur. Grâce aux faibles puissances mises en jeu au niveau du solénoïde, le système ne requiert pas de fort courant de commande et, ses masses en mouvement restant réduites, il bénéficie d'une excellente rapidité de fonctionnement.

Le fonctionnement des injecteurs piézo-électriques est assez proche de celui des précédents, si ce n'est que leur cœur est une céramique. Celle-ci possède pour particularité de se dilater, ou de se rétracter, sous l'effet d'une impulsion électrique : c'est l'effet piézo-électrique. Cependant, pour que de tels injecteurs puissent voir le jour, les constructeurs ont dû contourner un certain nombre de problèmes. En premier lieu, les dilatations d'un élément piézo-électrique sont extrêmement faibles. Pour obtenir un déplacement exploitable, ce sont pas moins de 400 pastilles de céramique qui sont empilées pour former l'élément actif de l'injecteur. Pour les actionner, une impulsion d'une centaine de volts leur est appliquée et un minuscule bras de levier amplifie leur mouvement. De plus, comme dans les injecteurs électromécaniques, les pastilles piézo-électriques ne commandent pas directement les mouvements de l'aiguille. Elles aussi actionnent une petite valve.

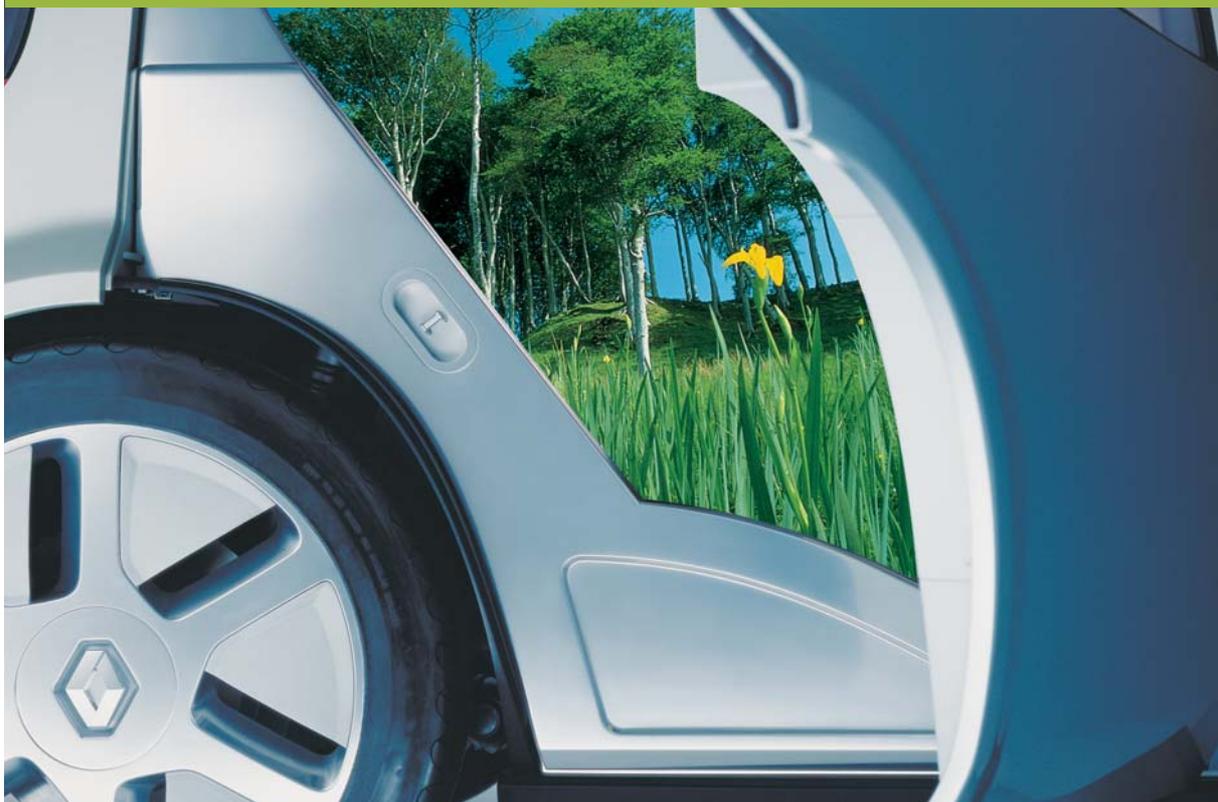
L'avantage majeur des injecteurs piézo-électriques est leur rapidité de fonctionnement et la répétabilité du mouvement de la valve. Les mouvements de dilatation et de rétractation des éléments piézo-électriques sont quasiment instantanés. Une vitesse de réaction qui permet un dosage encore plus précis du carburant injecté et une augmentation du nombre d'injections par cycle.





Environnement et management du cycle de vie

❖ Pour une voiture, on résume trop souvent le respect de l'environnement à celui de la phase d'utilisation du véhicule. Renault s'est fixé un objectif beaucoup plus ambitieux : ses véhicules doivent respecter l'environnement tout au long de leur cycle de vie. Ce défi ne se limite donc pas à la réduction des polluants contenus dans les gaz d'échappement. **Sa recherche couvre l'ensemble des constituants de la voiture de leur production jusqu'au recyclage final de la voiture.** Pour être efficace, cette démarche doit donc s'entreprendre très en amont, dès les premières étapes de la conception de la voiture.



RENAULT COMMUNICATION

❖ L'ESSENTIEL

La protection de l'environnement est en permanente mutation. Renault a donc une vision prospective des évolutions environnementales, afin de garantir la conformité de ses véhicules durant tout leur cycle de vie. De nouveaux défis écologiques, comme le recyclage, font régulièrement leur apparition. Par ailleurs, les évolutions technologiques permettent progressivement d'apporter des réponses efficaces à des problèmes environnementaux jusqu'alors insolubles.

Pour répondre à cet impératif de vision à long terme, Renault intègre la prise en compte de la protection de l'environnement au cœur de la conception de ses véhicules. De même, dans un souci de traçabilité des composés chimiques potentiellement polluants, Renault s'est engagé dans une démarche proactive avec ses fournisseurs. Ils se doivent de déclarer les substances qu'ils utilisent. Ce processus a pour but d'anticiper les interdictions et de pouvoir démontrer, ●●●



WAG

●●● notamment auprès des pouvoirs publics, le respect de la directive européenne 200/53/CE.

En outre, cette démarche permet la constitution d'une base de données destinée aux concepteurs des véhicules pour qu'ils puissent sélectionner chaque constituant d'une voiture non seulement à partir de critères techniques, mais aussi en fonction d'informations environnementales.

Dès le début d'une étude, Renault analyse ainsi les impacts environnementaux des solutions retenues, tout en restant à l'écoute des préoccupations environnementales de ses clients et en cherchant à anticiper les évolutions de la réglementation. Des cibles, en matière d'émissions, de consommation, de poids, d'aérodynamique, mais aussi de facilité d'entretien et d'aptitude au recyclage, sont alors fixées. De même, l'utilisation de composants non polluants est systématiquement privilégiée si elle est possible.

Durant cette phase, calcul numérique et simulation sont mis à contribution pour valider les solutions envisagées tant

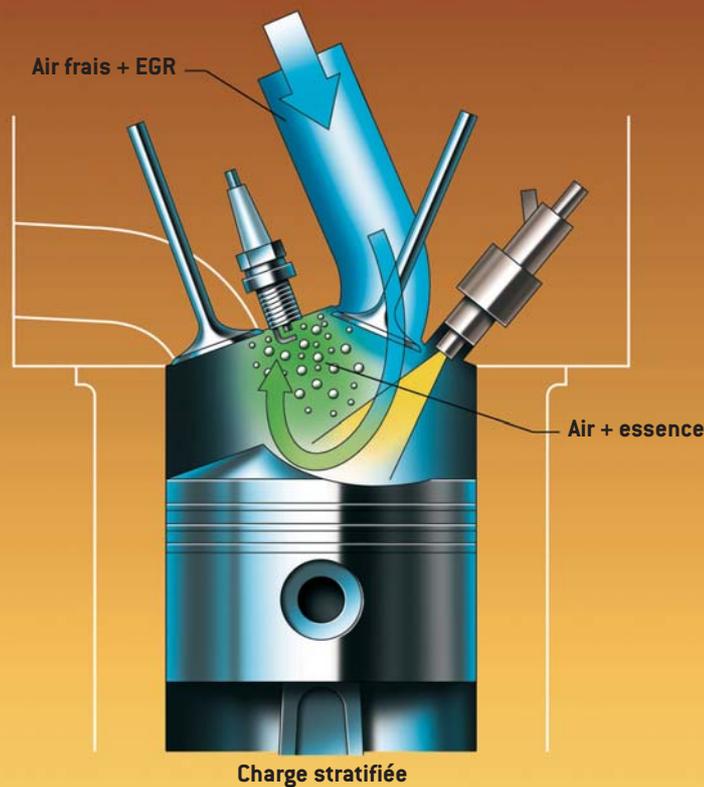
en termes de performances qu'en termes de sécurité ou d'agrément de vie à bord.

Enfin, outre les habituels tests en grandeur réelle réalisés sur des prototypes destinés à vérifier que le véhicule correspond bien aux attentes de ses concepteurs, un démontage est effectué. Il a pour but de vérifier que la voiture tient aussi ses promesses en matière de «recyclabilité». L'essentiel de ses composants doit pouvoir faire l'objet d'un tri sélectif afin d'optimiser son recyclage. Actuellement, ce taux de recyclabilité atteint 95% sur de nombreux véhicules Renault (cf. fiche).



Le moteur à charge stratifiée

Le principe de la charge stratifiée s'applique aux moteurs à essence à injection directe. Il consiste à concentrer la vaporisation du carburant à proximité de la bougie et non dans l'ensemble de la chambre de combustion. Ce mode de fonctionnement permet une **réduction de la consommation** du moteur qui peut atteindre 40% lorsqu'il tourne à faible charge.



RENAULT COMMUNICATION

➤ L'ESSENTIEL

Le principe du moteur à charge stratifiée est de disposer, à proximité immédiate de la bougie, d'un mélange suffisamment riche pour qu'il soit inflammable, et, dans le reste du cylindre, d'un mélange moins riche, si pauvre en carburant qu'il ne pourrait pas être utilisé dans un moteur traditionnel. Sur un moteur à charge stratifiée, la puissance délivrée n'est plus contrôlée par la quantité d'air admis, mais par la quantité d'essence injectée, comme sur un moteur Diesel.

EN RÉSUMÉ ➤➤

En concentrant la vaporisation du carburant dans une zone spécifique de la chambre de combustion logée à proximité de la bougie, la consommation du moteur se trouve fortement réduite à faible charge.



COMMENT ÇA MARCHE ?

L'une des filières consiste à diviser la chambre de combustion de manière à créer une préchambre où se trouve la bougie. La tête du piston est également modifiée. Elle porte une cavité sphéroïdale afin d'imprimer un mouvement tourbillonnant à l'air que contient le cylindre lors de la compression. Ainsi, lors de l'injection, la vaporisation du carburant se trouve confinée aux abords de la bougie.

Mais d'autres stratégies sont envisageables. Il est, entre autres, possible de jouer sur la forme du circuit d'admission et d'utiliser des artifices, comme des volets de «swirl» ou «tumble», pour créer des écoulements tourbillonnaires à leur niveau.

Toute la subtilité du fonctionnement du moteur en mode stratifié se joue au niveau de l'injection. Elle comporte deux modes principaux : un mode pauvre, qui correspond au fonctionnement à faible charge du moteur, donc lorsqu'il est peu sollicité, et un mode «normal» lorsqu'il tourne à pleine charge et délivre sa puissance maximale.

Dans le premier mode, l'injection a lieu en fin de compression. En raison de l'effet tourbillonnaire que crée la cavité du piston, le carburant vaporisé par l'injecteur reste confiné à proximité de la bougie. De plus, comme à cet instant il règne une très forte pression dans le cylindre, le «jet» de l'injecteur est lui aussi assez concentré. Cette directivité du jet favorise encore le confinement du mélange. Une très petite quantité de carburant suffit ainsi pour obtenir, dans la zone proche de la bougie, une richesse de mélange optimale alors que le reste du cylindre ne contient qu'un mélange très pauvre. La

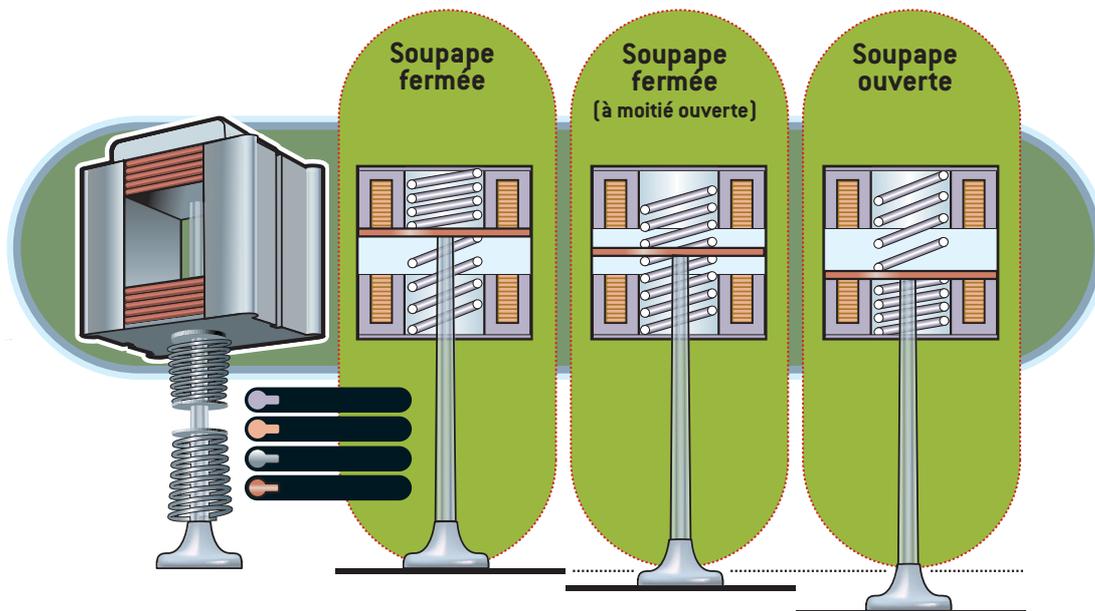
stratification de l'air dans le cylindre permet aussi d'obtenir aux charges partielles un noyau de mélange entouré de strates d'air et de gaz résiduels qui limitent le transfert de chaleur aux parois. Cette baisse de la température a pour effet d'augmenter la quantité d'air admise dans le cylindre en réduisant sa dilatation, ce qui offre au moteur un surcroît de puissance. Au ralenti, entre autres, ce procédé permet de réduire la consommation de près de 40% par rapport à un moteur classique. De plus, ce n'est pas là le seul gain. Le fonctionnement en charge stratifiée permet également d'abaisser la température de vaporisation du carburant. Tout ceci conduit à une réduction de consommation qui se traduit, bien entendu, par une réduction des émissions du moteur.

Lorsque la puissance du moteur est sollicitée, l'injection passe **en mode normal**. Elle a lieu pendant la phase d'admission, ce qui permet de retrouver un mélange homogène, comme c'est le cas lors d'une injection traditionnelle. Ici, contrairement au cas précédent, lorsque l'injection a lieu, la pression dans le cylindre est encore faible. Le jet de l'injecteur est alors très divergent, ce qui favorise la formation d'un mélange homogène.



Le moteur sans arbre à cames ou «camless»

Dans un moteur camless, des actionneurs électromécaniques (un jeu d'électroaimants), logés directement sur les soupapes, se substituent à l'arbre à cames. Cette technologie **permet d'optimiser la circulation des gaz dans le moteur**, tant à l'admission qu'à l'échappement, et de mettre en œuvre des modes de fonctionnement améliorant consommation, dépollution et performance.



RENAULT COMMUNICATION

L'ESSENTIEL

Sur un moteur traditionnel, l'ouverture comme la fermeture des soupapes sont commandées par l'arbre à cames. Lors de sa rotation, les cames poussent les soupapes. Si ce procédé est efficace et qu'il est exploité depuis l'invention du moteur à quatre temps, il n'en possède pas moins ses limites.

Les périodes de levée des soupapes sont conditionnées par le profil géométrique des cames, fixes quel que soit le fonctionnement moteur. Ce système mécanique est donc un compromis entre les diverses conditions de fonctionnement, compromis difficile entre consommation, performance et dépollution.

Pour mieux adapter les phases d'admission et d'échappement des gaz, des systèmes sont désormais incontournables pour être à un niveau de prestation acceptable sur le marché : le décalage d'arbre à cames [cf. fiche] permet un niveau de souplesse par le décalage de l'arbre à cames complet.

Cependant, les spécificités divergentes d'admission et d'échappement des gaz dans le moteur nécessitent une flexibilité accrue par cylindre, voire par soupapes, pour poursuivre l'amélioration des prestations.

Le système camless offre ces possibilités et d'autres encore...

EN RÉSUMÉ

L'ouverture et la fermeture des soupapes sont commandées par des actionneurs électromécaniques qui se substituent à l'arbre à cames. Ils confèrent aux soupapes une flexibilité d'ouverture et de fermeture étendue permettant d'adapter l'admission et l'échappement des gaz à chaque phase de fonctionnement et d'optimiser les prestations.



COMMENT ÇA MARCHE ?

1 DES ACTIONNEURS AUX COMMANDES

Des actionneurs électromécaniques, commandés par un calculateur de distribution, pilotent le mouvement des soupapes. Il n'existe ainsi plus de lien mécanique direct entre celles-ci et le vilebrequin. Les actionneurs électromécaniques sont placés en bout de queue des soupapes. Ils se composent de deux électroaimants superposés, entre les-

quels se déplace une pièce métallique solidaire d'un poussoir. Cet ensemble mobile est attiré alternativement par l'un ou l'autre des aimants sur commande du calculateur. Deux ressorts viennent compléter le système et assistent le mouvement des soupapes pour limiter la consommation électrique du système.

2 LES ATOUTS DU SYSTÈME CAMLESS

L'ouverture et la fermeture des soupapes sur commande du calculateur permettent d'optimiser les différentes phases de fonctionnement moteur. Lors des phases de ralenti, des stratégies d'ouverture spécifique des soupapes admission permettent d'admettre la quantité d'air juste nécessaire sans avoir recours au vanage de l'admission par le boîtier papillon, générateur d'une consommation inutilisée par le moteur. Le phasage de l'ouverture des soupapes ou la latitude de n'ouvrir qu'une soupape admission permettent de stabiliser le moteur sur des points de fonctionnement ralenti peu consommant tout en assurant un agrément de bon niveau au client.

Lors de fonctionnement urbain ou d'utilisation sur route, l'ouverture et le phasage adéquat des soupapes permettent d'admettre une quantité d'air limitée au besoin moteur mélangé à une masse de gaz brûlés maintenue volontairement dans le moteur. Cette stratégie se substitue à la fonction du circuit EGR (cf. fiche) et assure une réduction de la consommation, des émissions de polluants et notamment d'oxyde d'azote produits par le moteur. En terme de performance, la modularité du sys-

tème permet de maximiser la masse d'air frais enfermée dans le cylindre à tous les régimes assurant à la fois fort couple et forte puissance.

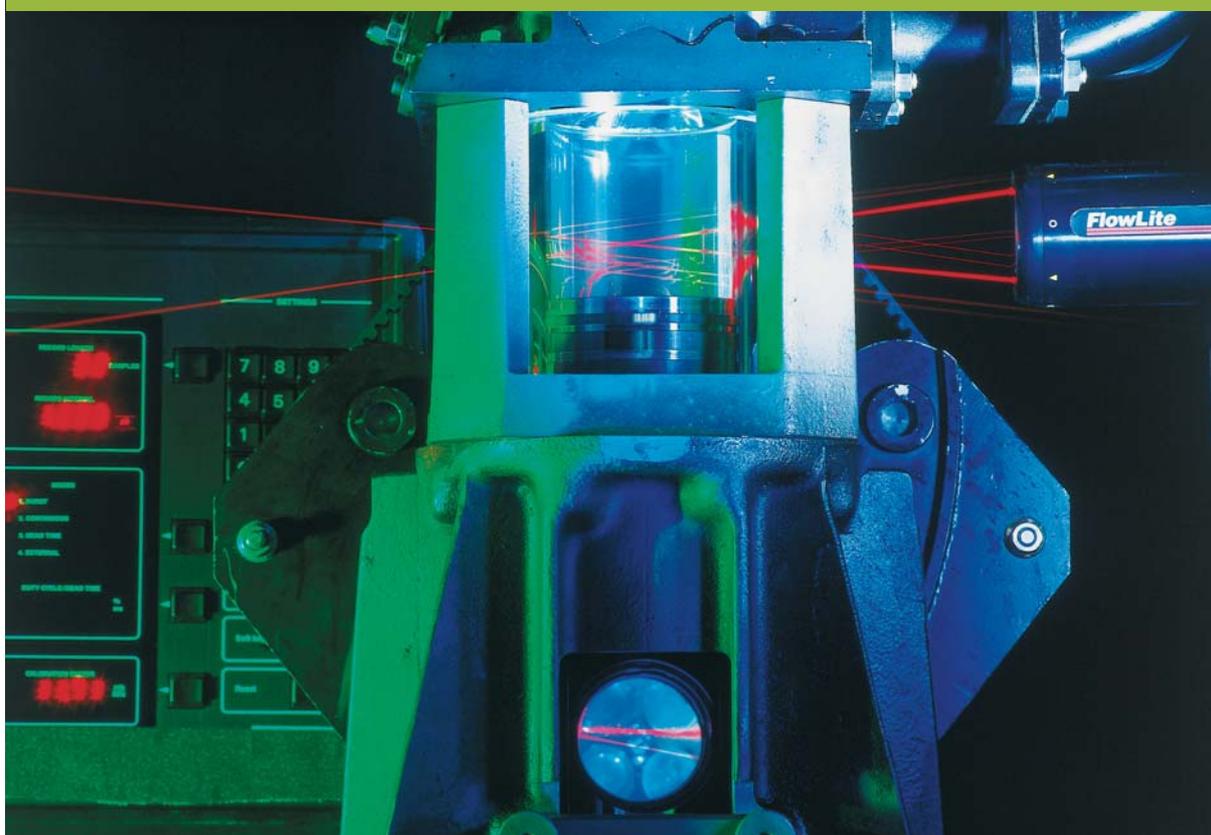
Outre ces possibilités, la désactivation de cylindre permet à la fois un gain supplémentaire en consommation et en émissions lorsque le moteur n'utilise qu'une faible partie de sa puissance, en utilisation urbaine notamment. Dans ce mode, seule la moitié des cylindres est utilisée pour fournir l'énergie aux roues, limitant significativement les pertes du moteur.

Le système camless est donc un système qui, sur moteur atmosphérique et suralimenté, offre une évolution significative des prestations moteur pour le client. C'est par ailleurs un système qui présente un potentiel d'évolution important et dont les fonctionnalités sont requises pour envisager des combustions par auto-allumage, type HCII, envisagées comme la prochaine étape pour réduire la consommation.



Les moteurs HCCI et CAI

➤ Baptisés HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) pour le Diesel et CAI (Controlled Auto Ignition) pour l'essence, **ces moteurs réabsorbent en partie leurs gaz brûlés**, ce qui conduit à un allumage instantané de l'intégralité du mélange que contient la chambre de combustion.



➤ L'ESSENTIEL

Le phénomène d'auto-inflammation, tant redouté dans les anciens moteurs à essence, est ici mis à contribution pour provoquer l'inflammation instantanée de l'ensemble du volume de mélange air-carburant dans les chambres de combustion. Qu'il s'agisse d'un moteur à essence ou Diesel, ce type de fonctionnement ne nécessite plus d'allumage en fonctionnement établi. L'auto-inflammation du mélange est obtenue soit par la pression et par la température du mélange Diesel préétabli (HCCI), soit par des gaz brûlés résiduels (CAI). Dans ce cas, la combustion hétérogène chaude classique par propagation d'un front de flamme fait place à une combustion globale homogène et plus «froide» [la température reste inférieure à 1 300 °C]. Deux points qui conduisent à l'absence de formation de particules de

suie et de NOx. De tels moteurs pourraient répondre, à terme ainsi aux exigences de la norme Euro 4, voire Euro 5, sans post-traitement des NOx ni filtre à particules.

EN RÉSUMÉ ➤➤

Les moteurs HCCI et CAI fonctionnent avec un taux de compression qui conduit à l'allumage spontané de l'ensemble du mélange. Il en résulte une combustion «froide» dans la chambre qui ne produit quasiment ni suie ni NOx.



➤ COMMENT ÇA MARCHE ?

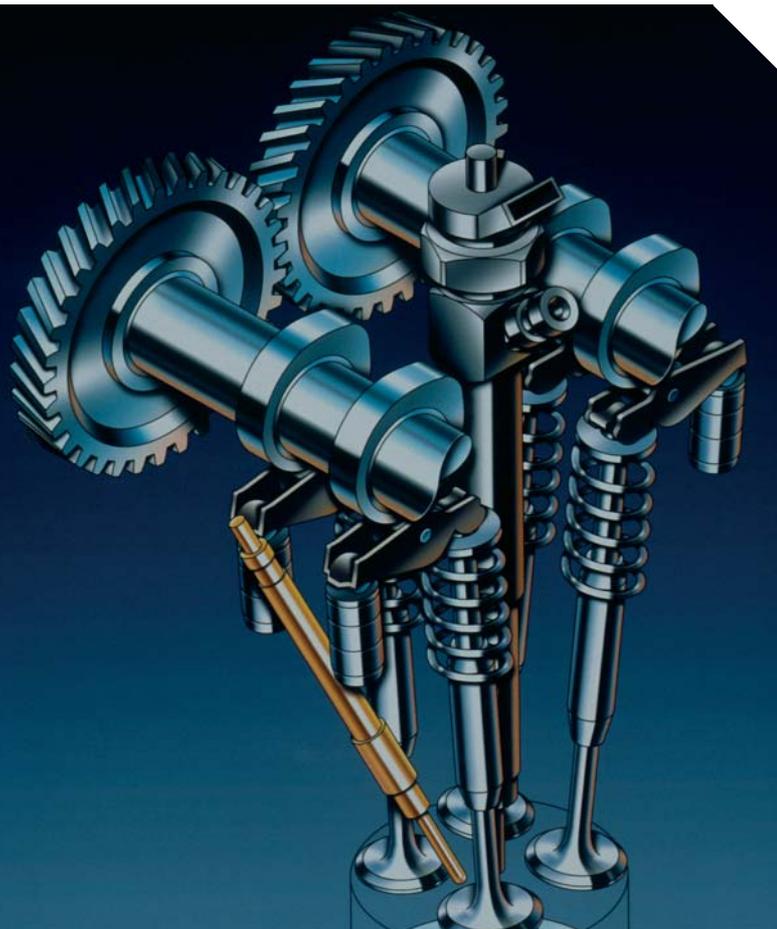
Le principe de ces moteurs consiste à réaliser dans les chambres de combustion un mélange air-carburant déjà très dilué par un fort taux de gaz d'échappement réinjectés ou conservés dans la chambre. De plus, ce mélange doit être parfaitement homogène. Lors de la compression, la combustion s'amorce spontanément par auto-allumage. Un phénomène que favorise la température élevée des gaz réinjectés ou retenus lors du prémélange. Le contrôle de cette combustion reste délicat et son domaine de stabilité est réduit. Le calculateur moteur doit gérer très finement le dosage du carburant injecté, comme la quantité de gaz brû-

lés réinjectés, pour préserver cette stabilité. Un point qui semble interdire, actuellement, le fonctionnement d'un moteur à essence uniquement en mode CAI sur une plage de régimes étendue. Un fonctionnement bimode, associant une injection traditionnelle à un fonctionnement en CAI, semble une solution réaliste. Les moteurs Diesel, en revanche, s'accrochent mieux d'un fonctionnement en mode HCCI sur une plage de régimes significative. De tels moteurs sont des candidats intéressants pour la motorisation de véhicules hybrides capables d'exploiter le moteur thermique sur une plage de régimes restreinte.



La multi-injection Diesel

➤ La répartition de la quantité de gasoil sur plusieurs injections permet d'optimiser sa combustion. Cette technique favorise la diminution des émissions et du bruit du moteur.



RENAULT COMMUNICATION

➤ L'ESSENTIEL

La rapidité de réaction des injecteurs électroniques autorise la multi-injection. La quantité globale de gasoil vaporisée dans les chambres de combustion du moteur est scindée en plusieurs injections élémentaires pour optimiser la combustion tout au long de la phase motrice du piston. Cette technologie permet à certains moteurs associés à de petits véhicules de répondre aux exigences de la norme Euro 4, sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours à un filtre à particules.

EN RÉSUMÉ ➤➤

Jusqu'à cinq injections élémentaires répartissent le gasoil vaporisé dans les chambres du moteur pour optimiser la combustion.

➤ Sécurité

➤ Environnement

➤ Vie à bord

➤ Mobilité



➤ COMMENT ÇA MARCHE ?

Le calculateur d'injection commande le temps d'ouverture de l'injecteur et le phasage de chaque injection élémentaire afin de réaliser un dosage qui optimise la combustion en termes d'émissions de polluants et de bruits.

Il existe de multiples cycles d'injection.

- **Préinjection, injection principale et postinjection rapprochée :**

Dans ce premier cycle, la préinjection permet de monter la température de la chambre de combustion avant l'injection principale. Cette mise en température favorise sa combustion. L'injection principale est dictée par la puissance demandée au moteur, donc par la position de l'accélérateur. La postinjection rapprochée possède une double fonction. En premier lieu, elle permet de «rebrûler» les résidus de l'injection principale et, par voie de conséquence, réduit les émissions de particules et d'hydrocarbures imbrûlés. En

outre, en survenant lors de la descente du piston, elle accroît le couple moteur.

- **Double préinjection et injection principale :**

Ici, la double préinjection assure une progressivité dans le dégagement de l'énergie issue de la combustion de l'injection principale. Elle réduit les émissions de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures imbrûlés en optimisant la combustion du mélange. Enfin, elle abaisse le niveau du bruit de combustion.

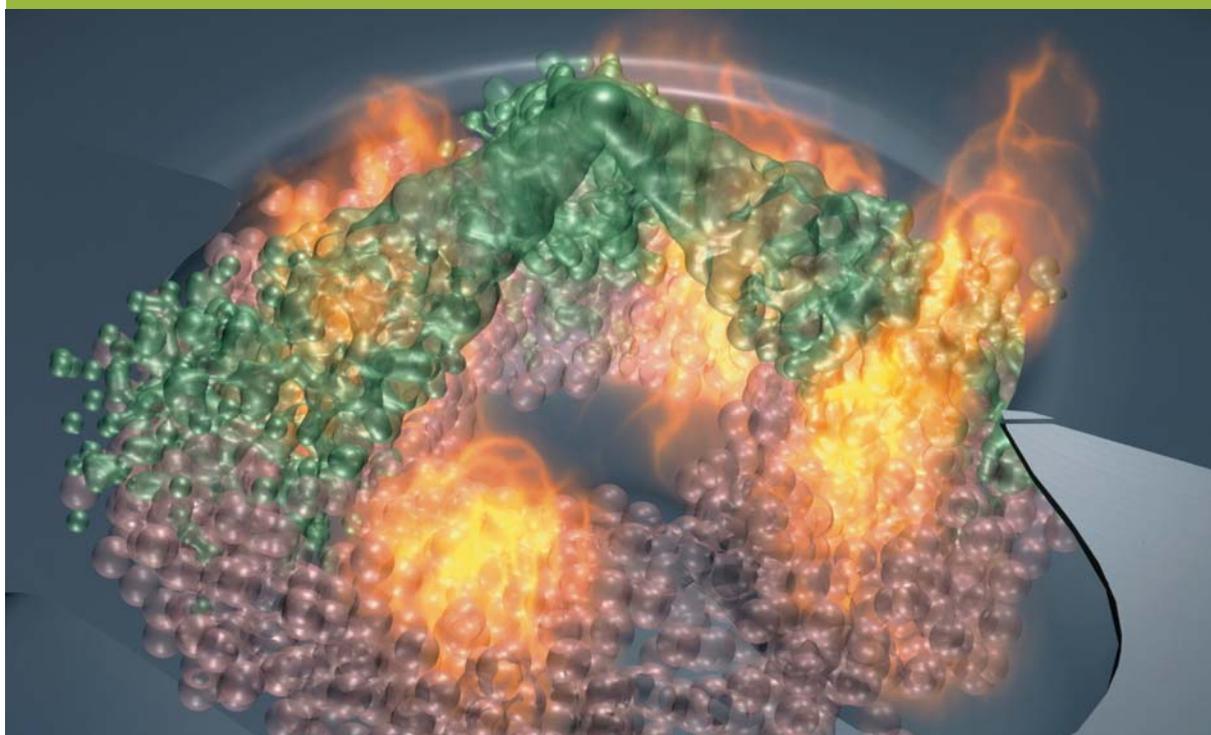
- **Cinq injections :**

Le cycle moteur comporte deux préinjections, une injection principale et deux postinjections. Ce mode de fonctionnement cumule les avantages des précédents. La fonction de la seconde postinjection est d'enrichir le mélange et/ou d'augmenter la température des gaz d'échappement afin que le pot catalytique fonctionne toujours à son rendement maximum.



L'optimisation de la combustion

Dans un moteur, qu'il soit à essence ou Diesel, bien **gérer la combustion du mélange air-carburant est capital**. De sa qualité dépendront tant les performances du moteur que son rendement et les émissions qu'il génère.



RENAULT COMMUNICATION

L'ESSENTIEL

La qualité de la combustion du mélange dans un moteur est fonction de multiples paramètres. En premier lieu, sa richesse, c'est-à-dire la proportion d'air et de carburant qu'il contient a un impact décisif. Il est primordial de gérer finement ce dosage. Mais le savoir-faire ne se limite pas à cet unique point. Par ailleurs, chaque technologie moteur, essence ou Diesel, requiert des solutions spécifiques. Sur un moteur à essence, par exemple, l'homogénéité du mélange ou la vitesse de propa-

gation du front de flamme devront être pris en compte. Sur un moteur Diesel, la température de combustion sera décisive pour l'apparition de particules ou la formation d'oxydes d'azote (NOx). Enfin, les circuits d'alimentation du moteur doivent opposer une résistance minimale à la circulation des fluides. L'air, ou le mélange, suivant le type de moteur doit arriver le plus librement possible jusqu'aux chambres de combustion. Chaque aspect requiert une solution particulière pour le résoudre.

EN RÉSUMÉ >>> Question de qualité

Optimiser la combustion d'un moteur permet d'accroître ses performances tout en réduisant sa consommation et les émissions qu'engendre son fonctionnement.



COMMENT ÇA MARCHE ?

1 AUJOURD'HUI

L'optimisation de la combustion doit porter conjointement sur plusieurs éléments du moteur pour être pleinement efficace. Chacun d'eux implique une maîtrise qui lui est propre. Optimiser la combustion d'un moteur fait donc appel à la convergence de plusieurs disciplines telles que l'écoulement des fluides, l'aérodynamique ou la thermodynamique.

- **La tubulure d'admission** : elle doit acheminer l'air vers le moteur en lui opposant le moins de résistance possible et sans générer de turbulences. L'étude de son comportement aérodynamique interne fait l'objet d'études extrêmement poussées.
- **Le collecteur d'admission** : il s'adresse aux moteurs à essence à injection indirecte, c'est-à-dire ceux dotés d'un injecteur unique placé en amont du moteur. Ici également, son aérodynamique interne doit être particulièrement soignée pour éviter toute perte d'homogénéité du mélange entre l'injecteur et les chambres de combustion du moteur.
- **La recirculation de gaz d'échappement (EGR)** : cette technique permet, en ré-injectant une partie des gaz d'échappement dans l'air qui alimente le moteur, de réduire la température de combustion et de réduire ainsi le taux de

NOx rejetés (voir fiche sur l'EGR).

- **Le refroidissement de l'air à l'admission (RAS)** : un échangeur de chaleur abaisse la température de l'air avant son admission. Comme précédemment cette technique permet de réduire le taux de NOx rejetés.
- **L'optimisation de la chambre de combustion** : en ajustant son aérodynamisme interne et la forme des pistons elle optimise la combustion. Ce point joue donc conjointement sur les performances du moteur, sa consommation et la réduction de sa pollution.
- **La pompe haute pression et rampe commune** : cette technique permet d'appliquer le gasoil aux injecteurs avec une pression très élevée. Elle offre une vaporisation du carburant sous forme de gouttelettes extrêmement fines, d'où une amélioration de l'homogénéité du mélange air-carburant (voir fiche sur le common-rail).
- **Les injecteurs électriques** : électromécaniques, ou mieux piézo-électriques, leur rapidité de fonctionnement autorise un dosage parfait du carburant (voir fiche sur les injecteurs électriques).

2 ET DEMAIN

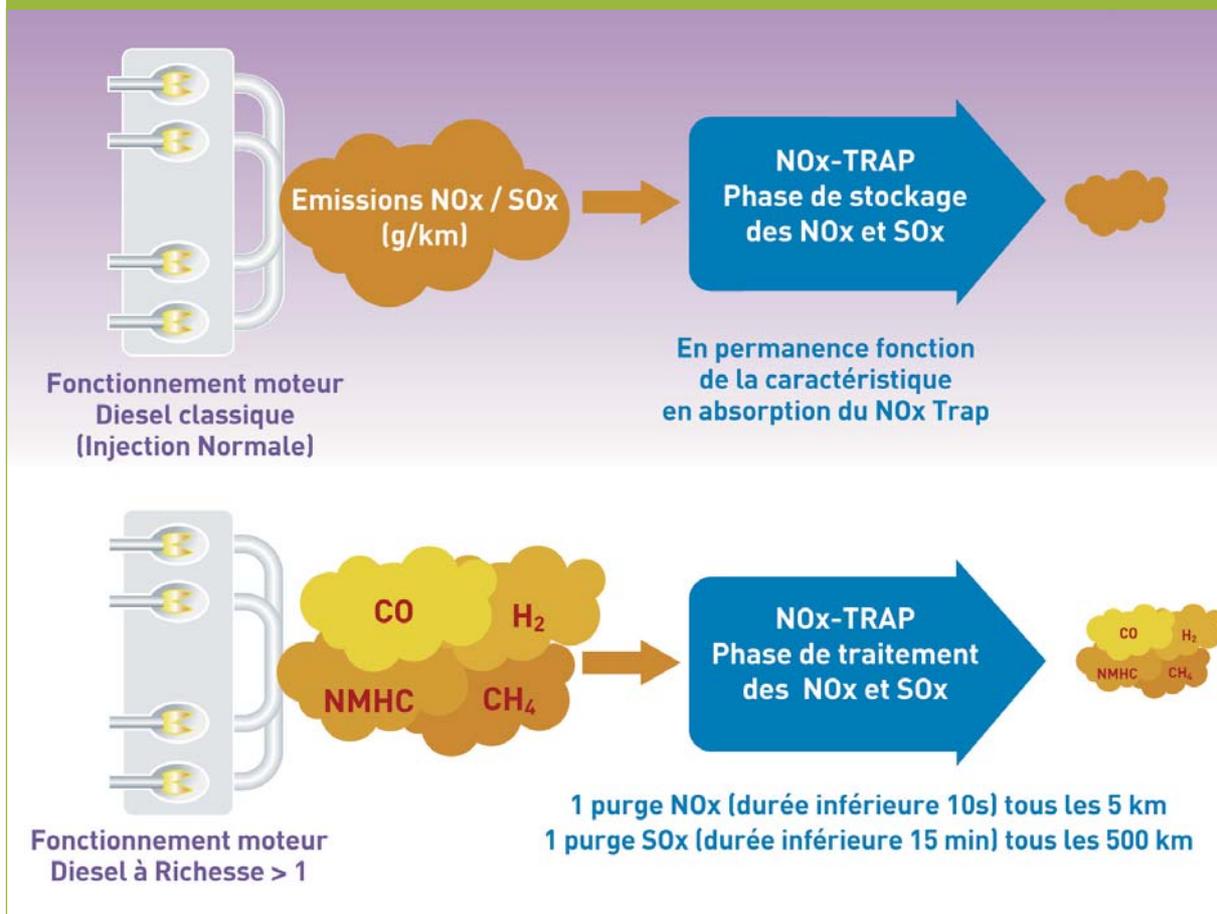
- La levée de soupapes variables permettra d'optimiser encore le comportement aérodynamique des circuits d'admission et d'échappement en fonction du régime et de la charge du moteur.
- Sur les moteurs Diesels, la combustion homogène par compression pourrait être une solution pour abaisser la température de combustion et réduire considérablement les émissions du moteur.





Le piège à NOx (NOx trap)

➤ Pour satisfaire aux normes du futur, les moteurs Diesel pourront avoir recours à un **dispositif de post-traitement des oxydes d'azote (NOx)** en complément du pot catalytique. Cette mission sera confiée au «piège à NOx».



➤ L'ESSENTIEL

Les seuils de rejet de NOx qu'imposeront les normes du futur seront inférieurs à ceux que peut garantir un pot catalytique conventionnel. Une des solutions envisagées pour répondre à leurs exigences est de compléter son action par un nouveau filtre baptisé piège à NOx, ou «NOx trap» en anglais. Le piège à NOx retient les oxydes d'azote et les stocke dans une structure microporeuse. Un principe de fonctionnement qui rappelle celui du filtre à particules (voir fiche). Une similitude qui impose aussi au piège à NOx des phases de régénération régulières.

EN RÉSUMÉ ➤➤

Le piège à NOx vient compléter l'action du pot catalytique pour abaisser le niveau des rejets en oxydes d'azote sous le seuil qu'imposeront les normes du futur.



COMMENT ÇA MARCHE ?

Le **NOx trap** remplit le rôle à la fois de catalyseur d'oxydation traditionnel (oxydation HC/CO) et de piège à NOx. Contrairement à sa fonction d'oxydation qui est continue, la fonction de piège à NOx est discontinue. En fonctionnement nominal, en mélange pauvre, le catalyseur piège les NOx mais ne les traite pas. Pour régénérer le catalyseur, le moteur à mélange pauvre doit fonctionner en mélange riche afin que les hydrocarbures imbrûlés et le monoxyde de carbone alors émis en grande quantité réduisent les NOx stockés. Pour optimiser le traitement de l'ensemble des polluants, il est nécessaire de gérer au mieux les phases de stockage et de régénération du piège.

Ainsi, le cœur du système de contrôle repose sur une modélisation du NOx trap et un automate de gestion :

- évaluer la thermique en tout point du catalyseur : forte dépendance de sa capacité de stockage à la température ;
- modélisation du stockage des NOx en mélange pauvre et de déstockage en mélange riche ;
- afin de garantir la non-divergence d'un tel système, une détection de fin de purge (NOx trap vide) basée sur l'analyse des signaux des sondes de richesse amont et aval a été développée ;
- automate NOx trap : élaboration de la requête de purge.

Les **phases de purge NOx du piège** sont caractérisées par un mode de fonctionnement à richesse 1 du moteur, obtenue par un vannage à l'admission (volet d'air) ainsi que l'ajout d'une postinjection.

Lors des phases de purge SOx (oxydes de soufre), ce mode de fonctionnement doit être associé à un niveau thermique élevé à l'intérieur du piège.

L'**application NOx trap** s'accompagne donc du développement et de la mise au point de ce nouveau mode de combustion :

- nouvelle gestion du système d'air permettant de maîtriser à la fois débit d'air et taux d'EGR de manière indépendante ;
- élaboration des consignes d'injection : assurer la transparence pour l'utilisateur (couple neutre lors de la transition de mode de combustion, réponse en dynamique) ;
- développement d'une régulation de richesse (présence d'une sonde de richesse proportionnelle en amont du NOx trap).

Comme pour tout système de dépollution, la législation exige un diagnostic de cette fonction :

- développement de l'OBD (On Board Diagnostic) du NOx trap, basé sur la surveillance de sa capacité d'absorption.



La pile à combustible

Lors de la production d'électricité, une pile à combustible ne rejette que de la vapeur d'eau. Au plan environnemental, elle constitue une solution particulièrement prometteuse pour une chaîne de traction électrique. Autre atout, elle ne nécessite aucun temps de recharge, handicap majeur des batteries traditionnelles.



Véhicule pile à combustible à reformeur essence

- | | | |
|---|-------------------------|-------------------------------------|
| 1 Batterie 42 V + convertisseur BT/HT | 5 Convertisseur 15 kW | 10 Refroidisseur d'air comprimé |
| 2 Batterie de puissance | 6 Réservoir essence | 11 Ensemble turbine-compresseur |
| 3 Onduleur | 7 Pile à combustible | 12 Condenseur d'eau pure |
| 4 Moteur électrique | 8 Reformeur essence | 13 Pompe à eau électrique |
| | 9 Filtre à air | 14 Ensemble radiateur-ventilateur |

RENAULT COMMUNICATION

L'ESSENTIEL

Si les véhicules électriques constituent une réponse aux problèmes environnementaux, le stockage de l'électricité qu'ils consomment est délicat. En effet, les seuls «réservoirs d'électricité» capables d'assurer la puissance nécessaire pour alimenter un véhicule électrique sont les batteries. Or, ces éléments sont lourds, encombrants et, surtout, longs à recharger. Pratiquement, seul l'échange pur et simple de la batterie «à plat» par une batterie chargée permet de raccourcir cette opération.

La pile à combustible pourrait résoudre ces problèmes soit en utilisant de l'hydrogène sous forme gazeuse, soit en l'extrayant d'un carburant liquide à l'aide d'un dispositif

appelé reformeur qui lui est alors associé. Ne rejetant que de la vapeur d'eau lors de la production d'électricité, elle cumule ainsi respect de l'environnement et souplesse d'utilisation.

EN RÉSUMÉ >>>

La pile à combustible produit directement de l'électricité à partir d'hydrogène et de l'oxygène que contient l'air ambiant. Elle ne rejette que de la vapeur d'eau.



COMMENT ÇA MARCHE ?

PAR LE REFORMAGE

En physique, tout effet possède sa réciproque. La pile à combustible est la réciproque de l'électrolyse de l'eau. Au lieu d'utiliser de l'électricité pour produire de l'oxygène et de l'hydrogène, elle produit de l'électricité en recombinant ces deux gaz. Le fonctionnement de la pile à combustible joue sur la séparation des électrons (charges électriques négatives) et des protons (charges électriques positives) issus de la dissociation des atomes d'hydrogène. Pour cela, une membrane, dite échangeuse de protons, agit à la manière d'un filtre qui ne laisse passer que les protons. Pour l'assister dans sa tâche, des catalyseurs, à base de platine, l'encadrent. Ce sont eux qui dissocient les atomes d'hydrogène en ions H⁻ (des électrons e⁻) et H⁺ (des protons). A l'issue de cette «séparation», une face de la membrane se trouve excédentaire en charges positives alors que l'autre est excédentaire en charges négatives. Des électrodes récoltent ces charges. Elles constituent les bornes «+» et «-» de la pile. Généralement, une pile à combustible renferme un empilement de plusieurs de ces éléments de base afin de délivrer une tension et une puissance électriques importantes.

La protection de l'environnement voit dans la pile à combustible une filière de production d'énergie «propre». Si elle traite de l'hydrogène pur et de l'oxygène issu de l'air ambiant, son fonctionnement ne dégage dans l'atmosphère, par définition, que de la vapeur d'eau.

Hydrogène gazeux

Le réseau de distribution de carburant n'est pas encore en mesure de proposer des solutions de stockage satisfaisantes pour l'hydrogène gazeux. En effet, contrairement au GPL, qui est stocké sous forme liquide avec une pression d'une dizaine de bars, l'hydrogène nécessite des pressions infiniment supé-

rieures (jusqu'à 700 bars). En outre, ses très petites molécules se fauflent par la moindre fissure. Très explosif, il impose donc de très sérieux dispositifs et processus de sécurité. On retrouve le même problème au niveau des réservoirs des véhicules. Certaines solutions pour le stocker dans des corps poreux à base d'hydrures sont à l'étude dans le monde afin de lui offrir la sécurité d'utilisation indispensable sur route. Par ailleurs, cette solution permettrait de réduire considérablement la taille du réservoir à capacité de stockage équivalente. Une autre solution consiste à reformer un carburant conventionnel à bord du véhicule, c'est-à-dire en extraire directement les atomes d'hydrogène qu'il contient à l'aide d'un dispositif spécifique : le reformeur. Cette solution présente l'avantage de pouvoir être mise en place sans attendre la création d'une infrastructure de distribution de l'hydrogène, mais a l'inconvénient de générer du CO₂ durant l'opération de reformage à bord du véhicule.

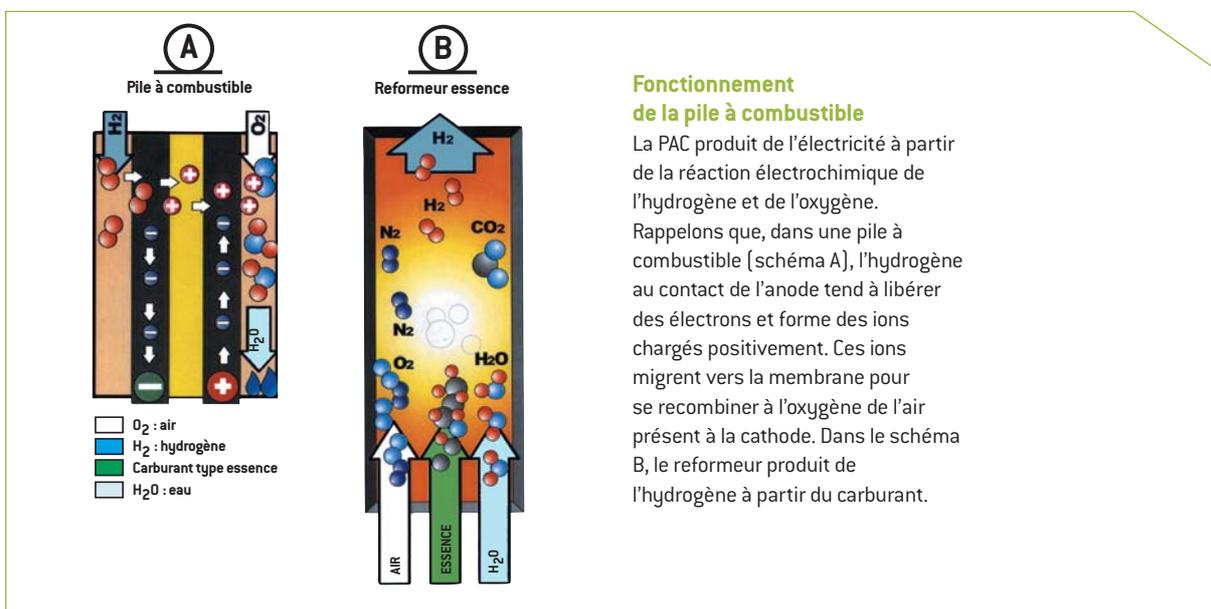
L'APU (Auxiliary Power Unit)

Renault travaille également sur une solution hybride où une pile à combustible de moyenne puissance et un moteur thermique utiliseraient conjointement le même carburant. Cette source de puissance auxiliaire, d'où son nom d'APU en anglais, aura pour vocation première d'alimenter en électricité les accessoires du véhicule. Ils seront ainsi utilisables même moteur coupé, dans les embouteillages par exemple. De plus, l'APU pourrait assurer un fonctionnement électrique de la voiture en cycle urbain.

Pour en savoir plus :

Page du site de l'Ademe sur les différents types de piles à combustible :

<http://www.ademe.fr/entreprises/energie/demain/pilecomb.asp>



Fonctionnement de la pile à combustible

La PAC produit de l'électricité à partir de la réaction électrochimique de l'hydrogène et de l'oxygène. Rappelons que, dans une pile à combustible (schéma A), l'hydrogène au contact de l'anode tend à libérer des électrons et forme des ions chargés positivement. Ces ions migrent vers la membrane pour se recombinaer à l'oxygène de l'air présent à la cathode. Dans le schéma B, le reformeur produit de l'hydrogène à partir du carburant.



Le pot catalytique pour les moteurs essence

Outre ses fonctions de silencieux et d'évacuation des gaz d'échappement, le pot prend maintenant en charge le traitement de ces derniers. Les gaz d'échappement des moteurs sont chargés en monoxyde de carbone (CO) et en oxydes d'azote (NOx), deux gaz particulièrement dangereux que le pot catalytique parvient à éliminer à près de 99%. De même, la très haute température, indispensable à son fonctionnement, qui règne au sein des structures poreuses, réalise une «postcombustion» des hydrocarbures imbrûlés.



RENAULT COMMUNICATION

L'ESSENTIEL

Comme toute combustion, celle du carburant dégage du CO₂ et de la vapeur d'eau, deux gaz non toxiques. Mais les conditions très particulières qui règnent dans un moteur conduisent également à la formation de monoxyde de carbone et d'oxydes d'azote. Or, ces deux derniers, à forte dose sont toxiques. La préservation de la qualité de l'air passe donc par leur élimination. Une tâche qui est confiée au pot catalytique, et qu'il assume particulièrement bien puisqu'il peut réduire leur concentration dans les gaz d'échappement de près de 99%. Pour cela, le pot brûle les molécules de monoxyde de carbone et casse les molécules d'azote par catalyse – d'où son nom – pour les transformer en vapeur d'eau et en gaz carbonique.

EN RÉSUMÉ >>>

Le pot catalytique débarrasse les gaz d'échappement de leurs composés toxiques en cassant leurs molécules par catalyse à haute température.



➤ COMMENT ÇA MARCHE ?

Les pots catalytiques actuels composés de deux éléments procèdent en deux étapes pratiquement simultanées pour débarrasser les gaz d'échappement de leurs composants nuisibles. Une première étape élimine le monoxyde de carbone et une seconde prend en charge les oxydes d'azote. L'ensemble de ces deux éléments est constitué d'une structure en nid-d'abeilles réalisée en céramique afin de résister aux très hautes températures indispensables à la catalyse. L'un de ces éléments est d'ailleurs placé au plus près du moteur pour monter rapidement en température et traiter le plus rapidement possible les émissions polluantes. La céramique est recouverte d'un ensemble de métaux précieux qui constituent un catalyseur capable de traiter les polluants. Un premier ensemble de ces métaux (platine-rhodium) casse la molécule d'oxyde d'azote, tandis qu'un second (platine-palladium) se charge d'oxyder les molécules de monoxyde de carbone.

A l'issue de ce double traitement, les gaz d'échappement ne sont plus constitués que de vapeur d'eau, de gaz carbonique et d'azote. Seules des traces de monoxyde de carbone et d'oxydes d'azote persistent, mais, une fois le pot monté en température, leur concentration n'excède pas 1%. Cependant, un bon rendement du pot catalytique ne peut être obtenu que dans des conditions de température et de concentration en oxygène des gaz d'échappement bien précises. La concentration idéale pour un plein rendement de la catalyse est de 1 gramme de carburant pour 14,7 grammes d'air. Si la proportion de carburant dans le mélange est supérieure à cette valeur, le taux de rejets en monoxyde de carbone s'envole. Inversement, si le mélange contient trop d'air, c'est au tour du taux d'oxydes d'azote (NOx) de grimper en flèche.



La concentration idéale pour un plein rendement de la catalyse est de 1 gramme de carburant pour 14,7 grammes d'air.

RENAULT COMMUNICATION

La température, pour sa part, doit être supérieure à 400 °C. Pour garantir ces conditions de fonctionnement, le calculateur de gestion du moteur ajuste la richesse du mélange du moteur en fonction des informations que lui communique la sonde lambda (cf. fiche). Il maintient ainsi un taux d'imbrûlés qui, par postcombustion dans le pot catalytique, permettra d'élever, ou non, sa température, et gère également la quantité d'oxygène indispensable à la catalyse.

Enfin, si le pot catalytique joue en faveur de la qualité de l'air en éliminant les composés toxiques des gaz d'échappement, il ne peut rien, en revanche, contre la formation de gaz carbonique. C'est pour cela que d'autres moyens doivent être mis en œuvre pour réduire les émissions de ce gaz à effet de serre.



Améliorer la qualité de l'air, réduire les émissions

➤ A la fois demande sociale et enjeu écologique, la préservation de la qualité de l'air est au cœur des recherches des constructeurs automobiles. L'automobile, outil de liberté, se doit de préserver notre environnement. **Depuis plus de trente ans, les efforts menés par l'industrie ont abouti à une réduction d'un facteur 100 des émissions des voitures.** Une valeur qui encourage les constructeurs dans leur politique volontariste de recherche de solutions innovantes pour réduire encore ces émissions et garantir au secteur automobile un développement international, dans la durée et dans le respect de la qualité de l'air.



RENAULT COMMUNICATION

➤ L'ESSENTIEL

Déjà, de nombreuses améliorations et innovations technologiques ont conféré aux voitures des taux d'émissions difficilement envisageables il n'y a encore que quelques années. L'injection directe, capable d'assurer un fin dosage du mélange air-carburant, optimise le rendement du moteur et, donc, limite ses émissions. De nouveaux systèmes de transmission, comme les boîtes robotisées à cinq rapports, dotés d'un haut rendement, permettent de transmettre au mieux la puissance que délivre le moteur tout en le faisant travailler dans des plages de régime favorables. Parallèlement à cela, d'autres ressources énergétiques comme le GPL, le GNV, l'électricité ou les biocarburants sont explorées.

A court et à moyen terme, des solutions beaucoup plus ambitieuses qui existent déjà, au moins à titre expérimental, devraient se généraliser. De nouveaux modes et cycles de fonctionnement sont envisagés pour les moteurs thermiques.

On parle de mélange pauvre, de moteurs à charge stratifiée. De même, l'apparition de moteurs camless (sans arbre à cames), aux soupapes pilotées électriquement, permettra d'optimiser la circulation des gaz, tant à l'admission qu'à l'échappement, et la combustion du mélange. Ces solutions innovantes font parfois aussi apparaître de nouveaux problèmes, comme l'augmentation du taux d'oxydes d'azote (NOx). D'où l'obligation de recherches parallèles, dans ce cas, sur les pièges à NOx. Les solutions hybrides, associant un moteur thermique et un moteur électrique, capables d'assurer des phases de fonctionnement à émissions zéro deviennent réalistes et viables.

Enfin, certaines tendances se dessinent. La combustion homogène pour les moteurs thermiques, HCCI et CAI, offre de nombreux avantages, mais demande encore à être maîtrisée. En rupture avec les filières traditionnelles de res- ●●●



●●● sources énergétiques, la pile à combustible, à hydrogène direct ou sans réformeur, qui ne rejette que de l'eau, semble prometteuse pour la propulsion électrique. Une gageure qu'a d'ailleurs décidé de relever Renault, en se fixant dix ans pour mettre sur le marché une voiture à pile à combustible aussi performante qu'un véhicule thermique et à coût comparable. Reste que, dans le domaine des systèmes de propulsion non polluants, des solutions encore inconnues à ce jour peuvent apparaître.

EN RÉSUMÉ >>>

Il n'existe pas de solution miracle pour la préservation de la qualité de l'air. Elle passe par l'association de technologies multiples et complexes, chacune agissant sur un paramètre précis. La recherche constante des constructeurs permet de diviser par deux les émissions tous les cinq ans.



La qualité de l'air dans l'habitacle

✦ L'air, dans l'habitacle, est un mélange complexe entre l'air prélevé à l'extérieur, qui alimente la climatisation et le chauffage, et les émissions des matériaux de l'habitacle. Afin de préserver les occupants de la voiture des manifestations d'allergie et d'inconfort olfactif, l'air extérieur, en provenance des abords immédiats de la voiture, est filtré. Dans certains cas de fortes concentrations extérieures, le recyclage permet d'isoler la voiture.



RENAULT COMMUNICATION

✦ L'ESSENTIEL

Lorsque la circulation est dense, l'air transporte des composés chimiques nocifs tels que des dioxydes de soufre ou d'azote. Hydrocarbures imbrûlés et particules viennent s'ajouter à ce mélange qui peut causer fatigue, inconfort et désagréments s'il est inhalé sur une longue période.

La seule solution, pour préserver le confort des passagers du véhicule, est de traiter l'air capté par le circuit de climatisation, ou de chauffage, avant son entrée dans l'habitacle.

EN RÉSUMÉ ✦✦

Outre la filtration de l'air, des efforts de qualité au niveau des matériaux à émissions réduites complètent la panoplie des actions à entreprendre. S'ajoute à cela la bonne maîtrise par les constructeurs de l'étanchéité des véhicules, éliminant ainsi tout risque de remontée de gaz d'échappement.



COMMENT ÇA MARCHE ?

Plusieurs procédés peuvent être utilisés. Les plus simples se basent sur la filtration des particules optimisée pour retenir les pollens. On peut également choisir de mettre en œuvre des filtres combinés qui retiennent à la fois les particules et les gaz. Ces filtres à base de charbon actif fixent les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre et les hydrocarbures. Lorsqu'ils sont neufs, leur efficacité atteint 95%. Leur remplacement régulier, au moins une fois par an ou tous les 15 000 km, est recommandé pour préserver une bonne qualité de désembuage.

Sur certains véhicules, la filtration peut être complétée par des capteurs de gaz sensibles au monoxyde de carbone ou aux oxydes d'azote qui pilotent la fermeture des volets d'entrée d'air lors de fortes concentrations de ces composés. Le véhicule est alors en mode recyclage.

Fonctionnement des filtres à pollen :

Les supports sont des nappes de non-tissé avec une porosité optimisée afin de retenir les particules allergènes telles que les pollens. Les mécanismes de tamisage, d'inertie, de diffusion et d'interception retiennent les particules par ordre décroissant de taille.

Fonctionnement des filtres à charbon actif :

Le carbone activé se présente sous la forme d'une poudre. L'activation résulte d'une oxydation ménagée qui attaque les grains en surface et en profondeur, créant des réseaux de canaux ou «pores» qui ont la propriété d'adsorber des molécules chimiques. Plus les pores sont fins, plus l'efficacité est importante. Le charbon actif est un matériau bon marché, car la matière première utilisée est du bois, de la sciure, des noyaux de fruits, etc.

Et pour le futur, d'autres technologies telles que la photocatalyse

Une autre solution est à l'étude, et se base sur la photocatalyse. Le filtre à air à charbon actif est recouvert de catalyseur activé par des lampes à ultraviolets. Cette activation entraîne la destruction des polluants retenus par le filtre tels que le benzène et les aldéhydes. De plus, cette photocatalyse peut également réduire les oxydes d'azote.

Apport d'air extérieur

Confort thermique

Emissions des matériaux



- GAZ
 - PARTICULES
 - ODEURS
- dans toutes les phases de vie du véhicule

- Emissions du compartiment moteur
- Fuites des circuits : carburant, climatisation

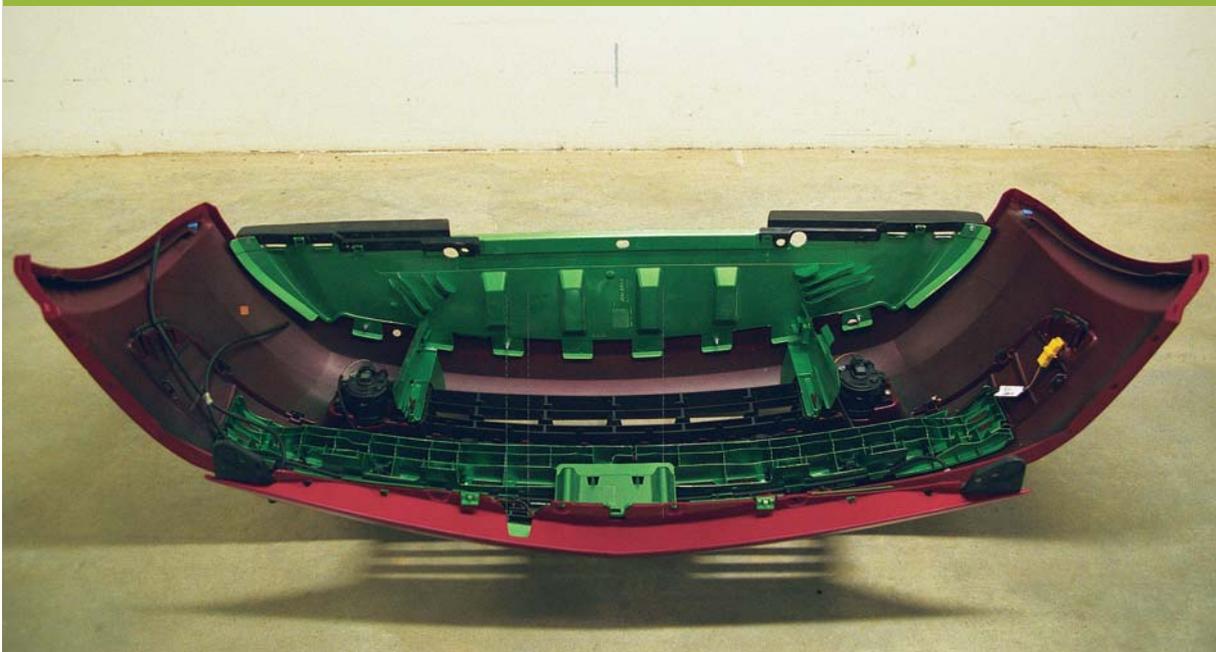
Remontées d'échappement

ÉTANCHÉITÉ DU VÉHICULE
Usure des matériaux d'abrasion
Freins
Embrayage
Pneus
Produits anticorrosion



Le recyclage

Le recyclage est l'ultime étape de la vie d'une voiture. Dépolluée, démontée, broyée, elle est séparée en pièces détachées réutilisables, matériaux recyclables et déchets ultimes à valoriser. 75% du métal qui la compose est recyclé et les derniers modèles développés par Renault sont conçus pour que 95% de la masse du véhicule soit recyclable. Une démarche qui contribue à la préservation de l'environnement.



RENAULT COMMUNICATION

L'ESSENTIEL

Dès sa conception, la fin de vie du véhicule – et donc son recyclage – est prise en compte. Lors de cette opération, un tri sélectif de certains composants du véhicule est réalisé de manière à traiter chaque constituant suivant la filière appropriée. Dans cet esprit, chaque élément réalisé dans un matériau donné doit être aisément dissociable d'autres pièces réalisées dans des matières différentes. Pour simplifier et optimiser chaque étape de ce tri sélectif, Renault attribue aux composants en plastique ou élastomère de ses véhicules un marquage permettant d'identifier la nature du matériau à recycler. En effet, on ne recycle pas de l'acier ou des métaux non ferreux de la même façon que du verre. De ce constat est née la notion de pièces «monomatériaux», c'est-à-dire d'éléments qui, après démontage, ne sont constitués que d'un matériau unique ou de matériaux compatibles sur le plan de la filière de recyclage à mettre en œuvre.

Cette première démarche s'accompagne de mesures complémentaires dont l'objet est de simplifier et d'optimiser

le recyclage. Les réservoirs de fluides, carburants, huiles, liquides de frein, etc., possèdent maintenant une forme spécialement étudiée pour qu'ils puissent être débarrassés de leur contenu au mieux. Sur certains d'entre eux, l'emplacement d'un trou de perçage, permettant une vidange totale, est même mentionné. De même, les solutions d'assemblage des divers éléments du véhicule sont étudiées de manière à simplifier leur démontage pour leur tri sélectif.

EN RÉSUMÉ >>>

L'éco-conception des véhicules actuels permet leur recyclage à 95%, un taux obtenu grâce à l'étude d'éléments monomatériaux, simples à démonter, directement réutilisables comme matière première. Le marquage de certaines de pièces simplifie le tri sélectif en précisant la nature des matériaux qui les composent.



COMMENT ÇA MARCHE ?

LES QUATRE GRANDES PHASES

Le traitement d'un véhicule en fin de vie est une opération très structurée qui comporte quatre phases principales.

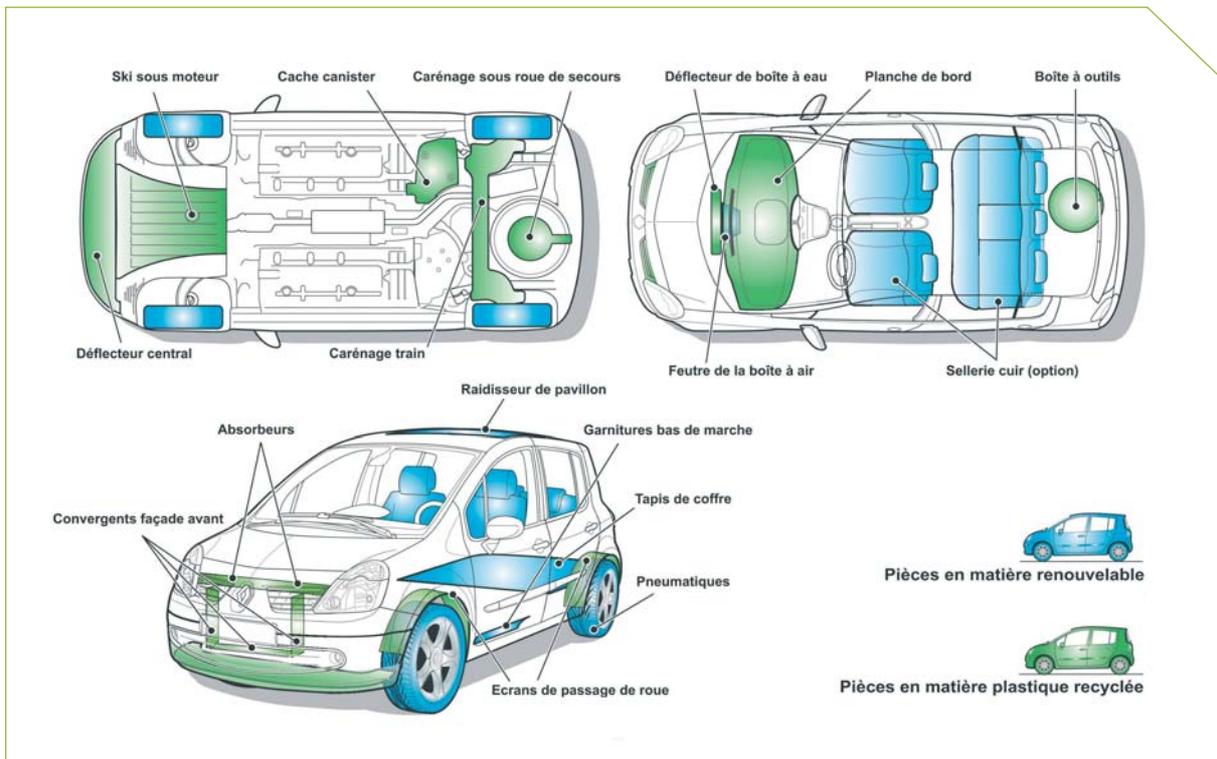
En premier lieu, la voiture est mise en sécurité et «dépolluée».

Cette première phase consiste en l'élimination de tous les éléments dangereux ou polluants qu'elle comporte. La batterie, les huiles, les fluides des circuits hydrauliques et les restes de carburants sont récupérés pour suivre une filière de traitement adaptée.

La seconde phase concerne le démontage. Si certains éléments directement utilisables en tant que pièces de rechange sont récupérés par les démolisseurs, les autres sont triés par type : métaux, verre, plastiques, etc.

Ensuite, les restes de la voiture sont déchiquetés et les matériaux qui les composent sont séparés. Il s'agit essentiellement de séparer les aciers, les aluminiums, les métaux et les non-ferreux.

Enfin, les résidus issus de cette sélection sont encore triés pour en extraire les derniers éléments valorisables. Certains plastiques peuvent être récupérés, en vue de leur recyclage. Les mélanges non triables de matériaux organiques, dont le recyclage n'est pas directement possible, sont le plus souvent incinérés et donc utilisés comme source d'énergie. Enfin, les résidus ultimes, inexploitable, sont confiés à des centres d'enfouissement technique.





La réduction du gaz carbonique (CO₂)

Le gaz carbonique est issu de la combustion de tout élément d'origine organique (essence, gasoil, mais aussi biocarburant). Dans un moteur thermique, sa formation est inéluctable. Or, **le CO₂ est le principal gaz à effet de serre**. L'évolution de sa concentration dans l'atmosphère a un impact direct sur le climat. La seule exception à cet accroissement du taux de CO₂ réside dans les biocarburants. Pour eux, il faut raisonner en termes de bilan global et non à partir de la concentration du CO₂ dans les gaz d'échappement. En effet, les biocarburants sont issus de la biomasse, donc de cultures. Or, durant leur croissance, les plantes absorbent du CO₂. Il y a ainsi recyclage du CO₂ issu de la combustion des biocarburants. Enfin, des filières alternatives, comme la propulsion électrique, permettent de se libérer totalement de la production de CO₂ dans la phase d'utilisation du véhicule.





↳ L'ESSENTIEL

La seule solution pour réduire la quantité de gaz carbonique que produit un moteur thermique pour une puissance donnée consiste à accroître son rendement. Cependant, celui-ci possède une limite physique impossible à dépasser. En outre, comme il se base sur une combustion, s'il est possible de réduire la quantité de CO₂ qu'il dégage pour une puissance donnée, il est impossible de l'éliminer totalement.

Une approche plus globale du problème permet de l'aborder différemment. Si l'on considère le bilan global du cycle du CO₂, c'est-à-dire en prenant en compte non seulement les quantités produites, tant par les activités humaines que naturelles, mais aussi celles que consomme la nature, et notamment la biomasse, les biocarburants peuvent constituer une filière intéressante pour la réduction de la production de CO₂. En effet, ils sont issus de la biomasse, c'est-à-dire essentiellement de cultures. Or, pour se développer, les plantes consomment du CO₂. Dans ce cas, le CO₂ issu du fonctionnement des moteurs thermiques se trouve «recyclé» par les cultures destinées à la production des biocarburants.

Cependant, pour les moteurs thermiques, la méthode la plus efficace pour réduire la quantité de CO₂ qu'ils génèrent est de réduire la quantité de carburant qu'ils brûlent et, donc, leur

consommation. Toute réduction de consommation est donc synonyme de réduction des émissions de CO₂.

La filière électrique constitue également un bon moyen de combattre les émissions de gaz carbonique. En effet, la production d'électricité peut être issue d'énergies renouvelables ou respectueuses de l'environnement. Centrales hydrauliques ou fermes éoliennes sont capables de produire de l'électricité avec un grand respect environnemental. L'hydrogène, dont la combustion ne génère que de la vapeur d'eau, peut d'ailleurs être considéré comme une «extension» de l'électricité (sa méthode de production la plus simple est l'électrolyse de l'eau).

La pile à combustible, capable d'exploiter directement l'hydrogène que contiennent certains carburants, constitue elle aussi une filière prometteuse en libérant les véhicules des problèmes de recharge que posent les batteries traditionnelles. Réciproque de l'électrolyse, elle tire de l'électricité de la recombinaison d'hydrogène et d'oxygène et, réalisant ainsi dans ses cloisonnements internes la «synthèse de l'eau», elle ne rejette que de la vapeur d'eau pour hydrogène directe (cf. fiche).

Enfin des filières alternatives, comme la propulsion électrique, permettent de se libérer totalement de la production de CO₂ dans la phase d'utilisation du véhicule.

EN RÉSUMÉ >>>

Toute combustion d'un élément organique est à l'origine de la production de CO₂. Réduire la consommation d'un moteur équivaut donc à réduire la production de CO₂. Seuls les moteurs non thermiques, comme les moteurs électriques, permettent de se libérer totalement de sa formation à l'échappement. Au niveau du bilan global de la concentration de ce gaz dans notre atmosphère, les biocarburants constituent également un «cas d'espèce» en absorbant durant leur cycle de croissance une quantité de CO₂ équivalente à celle que génère leur combustion.



La réduction des frottements

Les frottements s'opposent à l'avancement de la voiture et le moteur doit les vaincre, ce qui requiert de sa part un surcroît de puissance pénalisant pour la consommation. Tous les éléments en mouvement d'une voiture, de son moteur à ses pneumatiques en passant par la transmission, sont à la source de frottements. S'il n'est pas possible de les éliminer totalement, **leur réduction optimise le rendement global** du véhicule et minimise ainsi ses émissions.



RENAULT COMMUNICATION

L'ESSENTIEL

En mécanique, dès qu'il y a mouvement, il y a frottement. Il serait donc utopique de vouloir éliminer totalement les frottements. Cependant, les réduire permet d'accroître le rendement global du système mécanique. En automobile, ce point se traduit par une réduction de la puissance que doit développer le moteur dans des conditions de roulage identiques, et conduit donc à une réduction de ses émissions. Les études que mène Renault pour réduire les frottements de ses véhicules concernent de nombreux éléments de la consommation et, par voie de conséquence, les émissions.

EN RÉSUMÉ

La réduction des frottements permet d'accroître le rendement global de la voiture et minimise donc ses émissions.



COMMENT ÇA MARCHE ?

Il faut distinguer deux types de sources de frottements : celles inhérentes à la conception du véhicule et aux technologies qu'il exploite, et celles liées à des facteurs extérieurs. Pour la conception du véhicule, de nombreuses solutions existent déjà ou sont à l'étude.

- **Le moteur** comporte de nombreuses pièces en mouvement. Or, les frottements sont directement liés à leurs surfaces en contact. Réduire la taille des pistons, entre autres, permet de réduire ces surfaces de contact et, par voie de conséquence, les frottements. Le downsizing (voir fiche) va dans ce sens.

- **La distribution** est, elle aussi, une importante source de frottements dans le moteur. Pour les réduire, Renault a doté certains de ses moteurs, comme ceux des Laguna 1.6 et 1.8 16 V, d'une distribution pourvue de linguets à rouleaux. Cette configuration permet de réduire les frottements jusqu'à 50% dans les régimes. La distribution électrique, qui permettra de se dispenser d'arbre à cames et de courroie, réduira encore les frottements internes du moteur.

- **La boîte de vitesses** fait aussi l'objet d'études pour minimiser ses frottements internes. De plus, de nouvelles solutions, comme les boîtes robotisées (voir fiche), permettent de limiter la puissance que consomme la boîte au strict nécessaire pour assurer le changement des rapports.

Les sources de frottements externes sont souvent liées à l'environnement de la voiture ou à des consommables.

- **L'aérodynamique** (voir fiche) joue aussi un rôle important. En facilitant la pénétration dans l'air de la voiture, elle réduit la résistance à l'avancement à vitesse élevée, que l'on peut assimiler à un frottement avec l'air.

- **L'huile ou les pneus** ont un impact direct sur les frottements. Pour mieux cerner chaque problème, Renault a établi des liens étroits avec des fabricants d'huiles, comme Total, ou de pneumatiques, tel Michelin. Sur ces deux derniers points, l'attitude de l'utilisateur est également capitale. Une huile en fin de vie perd en partie ses propriétés lubrifiantes. Elle lutte moins efficacement contre l'apparition de frottements dans les éléments mécaniques.

- **Pour les pneumatiques**, une pression inadaptée, outre le danger qu'elle présente, peut accroître considérablement la résistance à l'avancement des roues. Les pneus doivent jouer sur l'équilibre entre adhérence et résistance à l'avancement. Or, un bon compromis ne peut être obtenu que pour une surface de contact précise entre le pneu et la route, directement liée à sa pression. Deux points que le conducteur doit surveiller de près pour préserver le bon rendement global de sa voiture.



Réglementation des émissions

Depuis une trentaine d'années, le niveau des émissions des véhicules a été divisé par 100. Une baisse en grande partie liée à l'apparition de réglementations au niveau européen. Actuellement, avec la succession des réglementations Euro 3, Euro 4 et, vers 2010, Euro 5, les émissions sont encore réduites quasiment de moitié tous les cinq ans. Des défis technologiques que les ingénieurs de Renault ont toujours anticipés, pour que chacun des véhicules que propose le groupe réponde aux exigences de chaque nouvelle réglementation.



DR

L'ESSENTIEL

Depuis le 1^{er} janvier 2005, la norme Euro 4 est applicable à tout nouveau modèle présenté. Elle devra plus généralement être respectée par tous les véhicules commercialisés à partir de janvier 2006. Globalement, elle impose une réduction de près de 50% des émissions des voitures par rapport à la réglementation Euro 3. Cependant, la composition gazeuse des émissions diffère suivant les moteurs.

EN RÉSUMÉ >>>

Les seuils imposés par la réglementation Euro 4

Emissions maximales pour les moteurs à essence :

CO :	1 g/km
NOx :	0,08 g/km
HC :	0,1 g/km

Emissions maximales pour les moteurs Diesel :

CO :	0,5 g/km
NOx :	0,25 g/km
HC + NOx :	0,3 g/km



COMMENT ÇA MARCHE ?

Les seuils que fixe Euro 4

- **Pour les moteurs à essence**, le taux de monoxyde de carbone (CO) rejeté ne doit plus dépasser 1 g/km parcouru, soit une réduction de 63% par rapport à Euro 3. De même, les émissions d'hydrocarbures (HC) ne doivent pas excéder 0,1 g/km, ce qui représente une baisse de 50% par rapport à Euro 3. Les émissions d'oxydes d'azote (NOx) sont, elles, réduites de 50%, et ne doivent pas excéder 0,08 g/km.

- **Pour les moteurs Diesel**, ces seuils diffèrent, en raison de leur architecture différente. Ici, le taux de monoxyde de carbone rejeté, déjà très bas, ne doit pas être supérieur à 0,5 g/km parcouru, soit une réduction de 25% par rapport à Euro 3.

La réduction des oxydes d'azote est importante. Les émissions de particules, typiques du Diesel, doivent également être maîtrisées. Leurs rejets ne doivent pas dépasser 0,025 g/km, soit, en l'occurrence, une réduction de 50%.

Les solutions

Pour répondre à ces impératifs, Renault joue sur quatre paramètres clés lors de la conception de ses groupes motopropulseurs, c'est-à-dire du moteur lui-même mais aussi de l'ensemble des éléments chargés de son alimentation, de la transmission de sa puissance aux roues, dont la boîte de vitesses, et du traitement des gaz d'échappement.

- **L'injection** en Diesel joue un rôle capital. L'adoption de systèmes à très haute pression, comme le common rail, ou rampe commune (cf. fiche), optimise la vaporisation du carburant, d'où une amélioration de la combustion. De même, le déploiement de la multi-injection (cf. fiche) assure un dosage parfait du mélange tout en permettant d'optimiser le fonctionnement de dispositifs placés en aval pour le traitement des gaz d'échappement tels que le pot catalytique ou le filtre à particules.

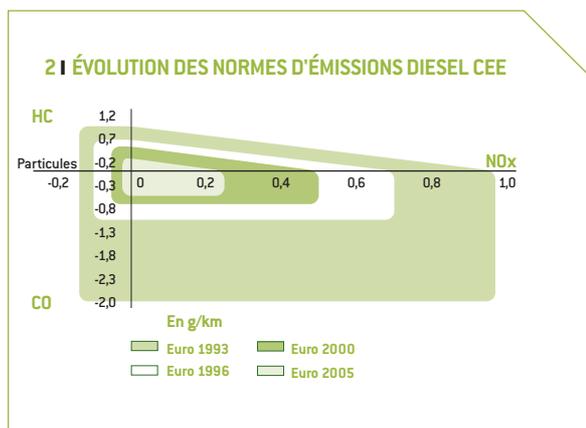
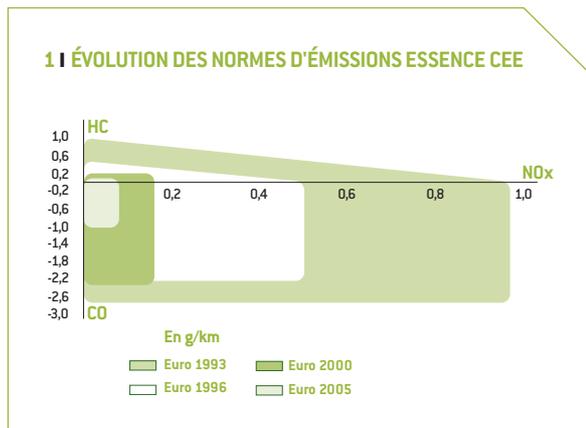
- **La combustion** est également améliorée par une étude particulièrement poussée de la géométrie des chambres du moteur. Des solutions, comme la vanne EGR (cf. fiche), permettent aussi de mieux la maîtriser. En outre, des études sur de nouveaux concepts de moteur, comme le fonctionnement en charge stratifiée, qui confine le carburant à proximité de la bougie (cf. fiche), ou les systèmes HCCI ou CAI, basés sur l'autocombustion du carburant (cf. fiche), permettent d'envisager de nouveaux modes de combustion, plus efficaces et capables de réduire les émissions.

- **L'architecture** du circuit d'échappement permet d'améliorer le post-traitement des gaz. En maîtrisant leur débit, leur température, et en assurant une régulation à l'aide de capteurs, le circuit d'échappement optimise le fonctionnement des ensembles de post-traitement tels que le catalyseur ou le filtre à particules (voir fiches).

- **Les post-traitements** débarrassent efficacement les gaz d'échappement de leurs polluants. La gestion fine des conditions de fonctionnement de la catalyse, autorisée par les calculateurs d'injection actuels, permet de répondre aux exigences de la norme Euro 4. Pour le futur, le filtre à particules deviendra sans doute incontournable en Diesel, malgré le surcoût qu'il engendrera sur le prix de vente final à la consommation des véhicules.

Les carburants aussi évoluent avec les normes :

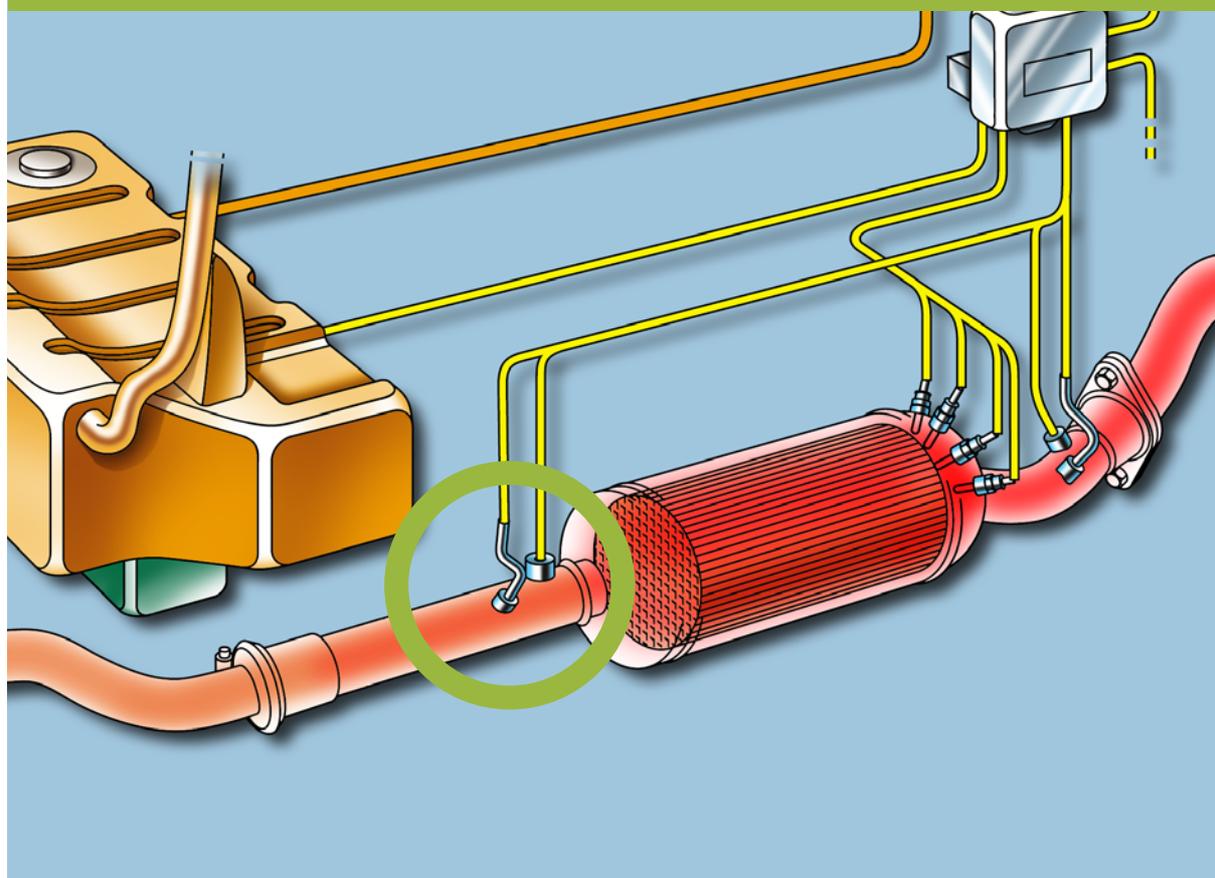
Le passage à la norme Euro 4 impose aussi une amélioration de la qualité des carburants. Leur teneur en soufre, notamment, a été fortement abaissée. Elle passe de 350 ppm (parties par million) à 50 ppm en 2005, puis à 10 ppm : un point particulièrement important aussi pour l'utilisation des futurs systèmes de post-traitement. En effet, les particules de soufre encrassent les canaux, réduisant l'activité des catalyseurs, bloquant les sites actifs à la surface des catalyseurs, ceci réduisant l'efficacité du post-traitement et pouvant grever la consommation client.





La sonde lambda

Compagne inséparable du pot catalytique, la sonde lambda optimise le fonctionnement. En effet, pour que l'efficacité du pot catalytique soit maximale, **les gaz d'échappement doivent contenir un taux d'oxygène parfaitement calibré**, et c'est la sonde qui indique au calculateur d'injection la concentration d'oxygène, pour qu'il ajuste le dosage air-carburant aux exigences du pot catalytique.



RENAULT COMMUNICATION

> L'ESSENTIEL

Pour que l'efficacité du pot catalytique soit optimale, la concentration du mélange doit être de 1 gramme de carburant pour 14,7 grammes d'air. Si la proportion de carburant dans le mélange est supérieure à cette valeur, le taux de rejet de monoxyde de carbone s'envole. Inversement, si le mélange contient trop d'air, c'est au tour du taux d'oxydes d'azote (NOx) de grimper en flèche. Or, si les calculateurs d'injection sont capables d'ajuster très finement les proportions air-carburant du mélange traité par le moteur, encore faut-il qu'ils puissent quantifier les résultats de leurs actions pour les optimiser. C'est la sonde lambda qui, en mesurant le taux d'oxygène présent dans les gaz d'échappement, leur

fournit ce «retour d'information». Pour réaliser sa mesure, elle est placée juste en sortie de moteur, en amont du premier étage du pot catalytique.

EN RÉSUMÉ >>>

La sonde lambda mesure la concentration en oxygène des gaz d'échappement pour que le calculateur d'injection ajuste son taux aux besoins du pot catalytique.



COMMENT ÇA MARCHE ?

Le cœur de la sonde lambda est un petit tube en céramique poreuse : du dioxyde de zirconium «dopé» à l'yttrine (Y 2O₃) – c'est-à-dire contenant des traces d'yttrine. Il a la forme d'une «petite éprouvette». Sa face externe baigne dans les gaz d'échappement. Sa face interne, en contact avec une cavité de référence (air ambiant), est couverte d'une fine couche de platine, également poreuse. Cette association se comporte comme une pile qui délivre une tension proportionnelle à l'écart de concentration en oxygène des faces interne et externe de la sonde. Cette tension, comprise entre 0 et 1 volt, est issue d'un échange ionique qui intervient lorsque l'oxygène traverse ces milieux poreux. En comparant sa valeur à celle d'une tension fixée comme référence, le calculateur d'injection ajuste la richesse du mélange air-carburant. Il fixe ainsi le taux d'oxygène nécessaire pour

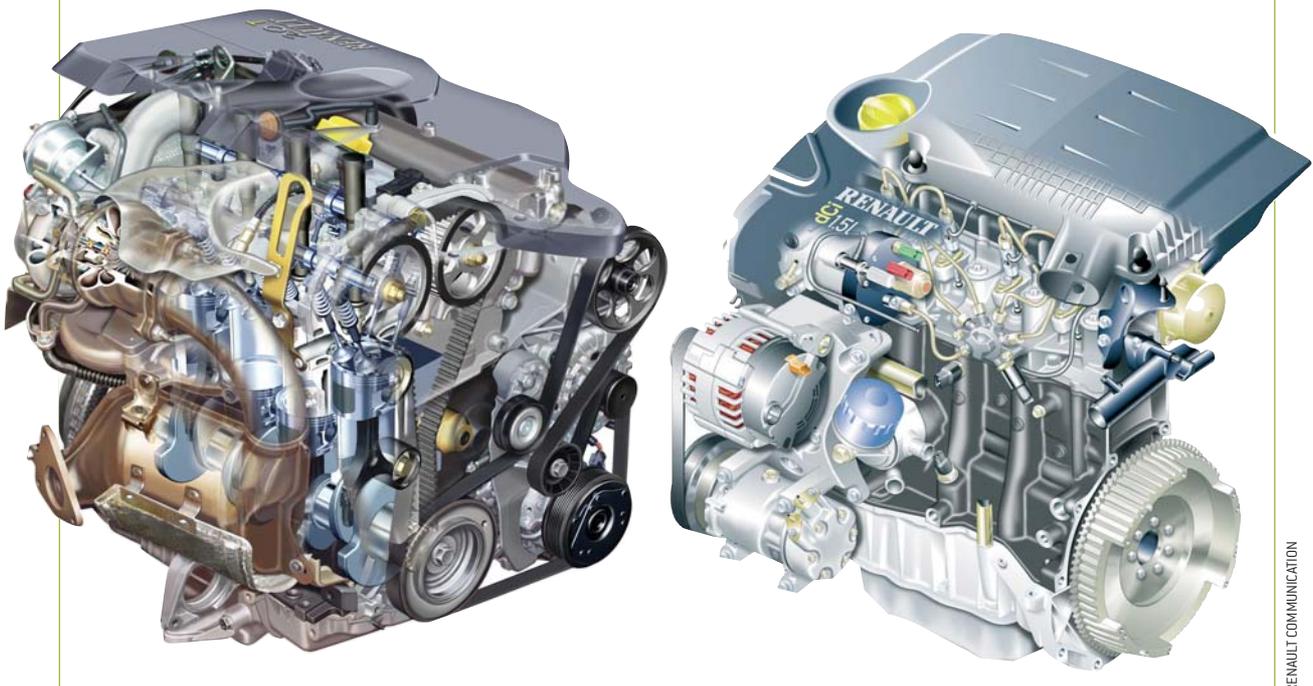
que la catalyse s'effectue dans de bonnes conditions. Si la tension de la sonde se trouve au-dessus de la tension de référence, le mélange est considéré comme riche, et le calculateur doit réduire le temps d'ouverture du ou des injecteurs pour abaisser la richesse du mélange. Si la tension que délivre la sonde est inférieure à la tension de référence, le calculateur augmentera la richesse du mélange.

Pour les motorisations Diesel, des sondes dites proportionnelles se substituent maintenant aux sondes lambda. Capables de mesurer très précisément la teneur en oxygène des gaz d'échappement, elles permettent de doser de manière extrêmement fine la quantité de carburant injectée et, donc, de maîtriser encore mieux les émissions du moteur en exploitant pleinement les capacités du pot catalytique.



Les technologies moteur

➤ Si le moteur est le cœur du véhicule, il est aussi responsable de ses émissions. Renault consacre donc une grande partie de sa recherche à son optimisation, afin de **trouver des solutions nouvelles capables d'associer performances et respect de l'environnement**. Dans ce domaine, le niveau des émissions des véhicules a été réduit par 100 en une trentaine d'années. Mais les efforts de Renault se poursuivent pour l'abaisser encore en adoptant de nouvelles technologies, voire de nouveaux concepts, qui équipent déjà, ou équiperont demain, des voitures de série.



➤ L'ESSENTIEL

L'énergie que produit un moteur provient de la combustion d'hydrocarbures. Elle est donc, fatalement, à l'origine de la production de gaz carbonique et de vapeur d'eau. Cependant, dans les conditions réelles régnant à l'intérieur du moteur, la combustion n'est pas parfaite. Elle produit d'autres émissions, telles celles d'oxydes d'azote, de composés organiques volatils ou de particules, que certaines technologies moteur peuvent réduire. Enfin, le rendement du moteur influe aussi sur ces émissions : moins il consomme de carburant pour fournir une puissance donnée, moins ses rejets sont importants. Des études approfondies, tant sur le moteur lui-même que sur

certaines de ses périphériques, permettent d'améliorer le rendement du moteur et de réduire ses émissions tout en conservant un niveau de prestations identique.

EN RÉSUMÉ ➤➤

L'optimisation, tant du moteur lui-même que de certains de ses périphériques, permet de lui conserver des prestations identiques tout en réduisant ses émissions.



COMMENT ÇA MARCHE ?

La maîtrise de la combustion est fondamentale. Elle permet de tirer du mélange air-carburant le maximum d'énergie possible tout en minimisant les émissions de polluants.

Déjà, aujourd'hui, des solutions comme l'injection «common rail» à haute pression, en Diesel, qui assure une pulvérisation optimale du carburant, ouvrent des voies pour l'optimiser. D'autres procédés, comme le système EGR (Exhaust Gaz Recirculation), basé sur la réinjection de gaz d'échappement dans le mélange, autorisent aussi une réduction des émissions, et notamment des oxydes d'azote. Certaines solutions mécaniques innovantes, comme le décaleur d'arbre à cames, améliorent encore la combustion et offrent au moteur un meilleur rendement en adaptant son cycle de fonctionnement à chaque régime. Le downsizing, en réduisant la taille du moteur, fait que celui-ci est plus

souvent utilisé dans ses zones de meilleur rendement. Un turbocompresseur permet de répondre à des demandes occasionnelles de puissance. Dans un proche avenir, des procédés de combustion, comme le fonctionnement en charge stratifiée ou les systèmes HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) pour le Diesel et CAI (Controlled Auto Ignition) pour l'essence, mettant en jeu des modifications profondes des chambres de combustion, autoriseront un accroissement du rendement du moteur et une réduction de ses émissions que d'autres dispositifs ne permettent pas d'envisager. A plus long terme, les soupapes électromagnétiques, grâce à leur rapidité de réaction et à leurs possibilités de variation infinies, offriront au moteur de nouveaux modes de fonctionnement parfaitement adaptés à chaque régime et à sa charge.



Le turbocompresseur

Le turbocompresseur est souvent considéré comme un «**accessoire**» offrant à un moteur un surcroît de puissance et un brio en toutes circonstances. Pourtant, si cette réputation est justifiée, les apports qu'offre un turbo ne se limitent pas à cela.



L'ESSENTIEL

Pour accroître la puissance d'un moteur, il est possible de jouer soit sur sa cylindrée, soit sur son régime. Une autre voie consiste à lui faire exploiter plus de carburant. C'est cette dernière solution, encore appelée suralimentation, qu'exploite le turbo. Cependant, pour y parvenir, on ne peut pas se contenter d'augmenter les doses d'essence, ou de gazole, injectées à chaque cycle. En effet, pour que le moteur fonctionne correctement, il faut respecter des proportions précises dans le mélange air-carburant.

Dans le cas contraire, la combustion est incomplète, ce qui se traduit par une montée en flèche du taux d'imbrûlés, une perte de rendement, voire l'«**étouffement**» du moteur. Autant de points qui vont à l'encontre de l'objectif recherché. La vocation du turbo est donc de faire entrer plus d'air dans les cylindres, afin de respecter le dosage du mélange, «**simplement**» en le comprimant. Ceci équivaut aussi à donner au moteur une «**cylindrée virtuelle**» supérieure à sa cylindrée réelle.

EN RÉSUMÉ >>>

En comprimant l'air au niveau de l'admission du moteur, le turbo accroît virtuellement sa cylindrée. Il permet ainsi d'augmenter très fortement la puissance spécifique qu'il est capable de délivrer tout en lui conservant une masse très inférieure à celle d'un moteur atmosphérique de cylindrée nettement plus importante. Cette alternative de substitution permet de réduire simultanément la consommation de nos véhicules ainsi que les émissions de polluants.



COMMENT ÇA MARCHE ?

Les gaz de combustion repoussés par le piston du cylindre sont dirigés vers la roue de turbine après avoir été mis en vitesse lors de leur passage dans la volute [rétrocession de l'énergie cinétique des gaz, cumulée à un transfert thermique]. En se détendant au travers de l'étage de turbine, les gaz d'échappement vont céder une partie de leur énergie motrice à la roue de turbine, qui la transmettra à la roue de compresseur fixée sur l'axe commun, le tout reposant sur le système palier. Lorsque le moteur est en fonctionnement stabilisé, la puissance délivrée par la turbine équilibre celle nécessaire au compresseur pour fournir l'air de suralimentation à la pression demandée. La compression de l'air se traduisant par son échauffement, afin d'obtenir un remplissage massique important – gage de puissance spécifique élevée – mais aussi de préserver la fiabilité du moteur [augmentation de la thermique pistons, culasse], il est nécessaire de le refroidir : c'est le rôle réservé à l'échangeur d'air de suralimentation.

Le principe de la régulation de pression

Lorsque le moteur est appelé à fonctionner, il est nécessaire de pouvoir réguler la pression d'air [ou le débit d'air massique introduit dans les cylindres] afin de respecter strictement la proportion du mélange formé entre comburant et carburant [essence ou gazole], et ce, pour chacun des points de régime/charge du moteur. Pour obtenir cette régulation du débit d'air, la solution couramment appliquée consiste à équiper le carter de turbine d'un clapet de décharge dont le pilotage permettra aux gaz d'échappement de «by-passer» la turbine dès que la pression dans le collecteur d'admission dépassera la limite prévue. Pour ce qu'il est convenu d'appeler les TGF [turbo à géométrie fixe], c'est le rôle attribué à la «waste gate» [clapet de décharge].

Les turbines à géométrie variables (TGV)

Dans le cas de ces turbocompresseurs, le principe de fonctionnement consiste à faire varier la section d'entrée de la turbine de façon à obtenir le rapport de détente souhaité en tout point

de fonctionnement, et ce, quelles que soient les valeurs de débit et de température des gaz d'échappement.

- Dans la majeure partie des applications, l'étendue de la variation de débit des gaz au travers de la turbine ne nécessite pas l'apport d'une dérivation complémentaire des gaz, par rapport au potentiel de la géométrie variable [«waste gate» comme en TGF] ; on dit en ce cas que le turbo est dimensionné pour couvrir l'ensemble du débit moteur répondant aux objectifs de couple et de puissance.

- Différents systèmes de géométrie variable coexistent [VNT pour «Variable Nozzle Turbine»], néanmoins, le plus répandu est le concept qui répond à l'appellation de multivannes.

Schématiquement, cette géométrie variable se présente sous la forme d'une couronne de vanes pivotantes placées à égale distance en périphérie de la roue de turbine. En fonction de l'angle d'incidence donné aux vanes, dont l'extrémité est orientée en direction des ailettes de la roue de turbine, il est possible de moduler la puissance récupérée par la roue [vannes en fermeture => mise en vitesse maxi des gaz = accélération de la roue de turbine, vanes vers l'ouverture => augmentation progressive de la perméabilité de turbine => régulation de pression par réduction de la vitesse de rotation de la roue de turbine].

- Par opposition à ce dispositif, le VNT O-P [pour «One Pièce»] utilise le coulisement axial d'un piston porteur de vanes fixes pour assurer cette même variation de perméabilité en périphérie de la roue de turbine [piston fermé => faible section de passage => mise en vitesse de la roue, piston progressivement ouvert => régulation de pression].

Ces systèmes «variables» sont capables d'un rendement nettement supérieur à celui des TGF mais ils sont aussi plus complexes et onéreux à fabriquer, et ne supportent pas, pour le moment, les très hautes températures d'échappement des applications essence.



La technologie multi-ailettes permet de raccourcir le temps de réaction à bas régime.