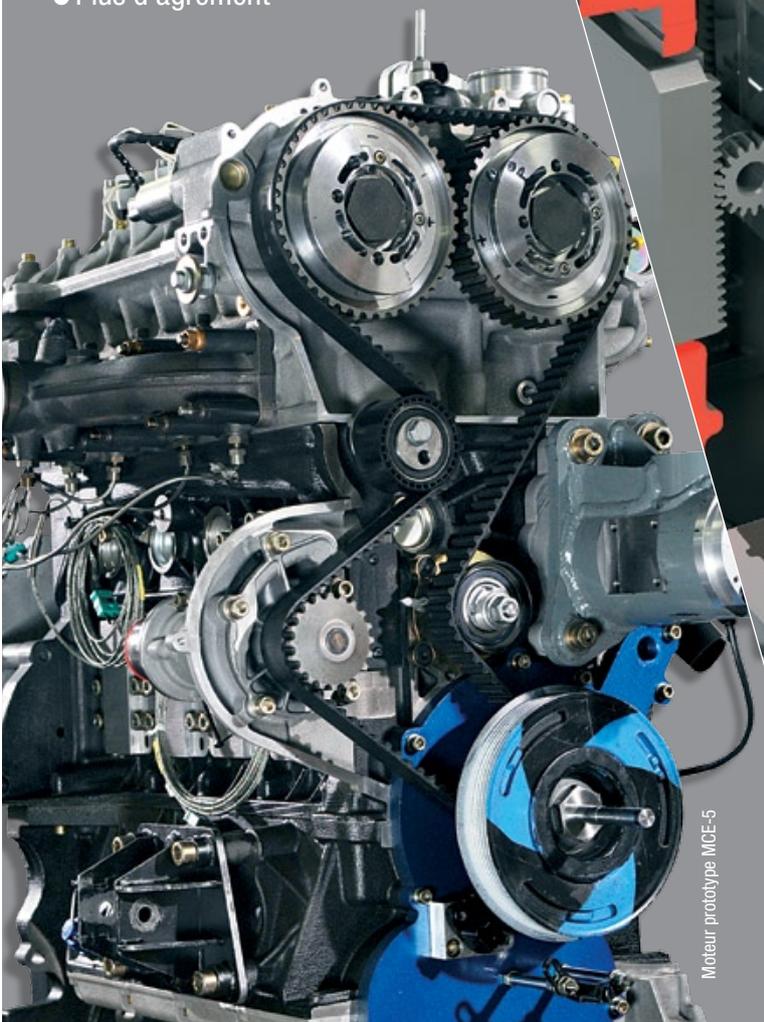


# MCE-5 VCR-i:

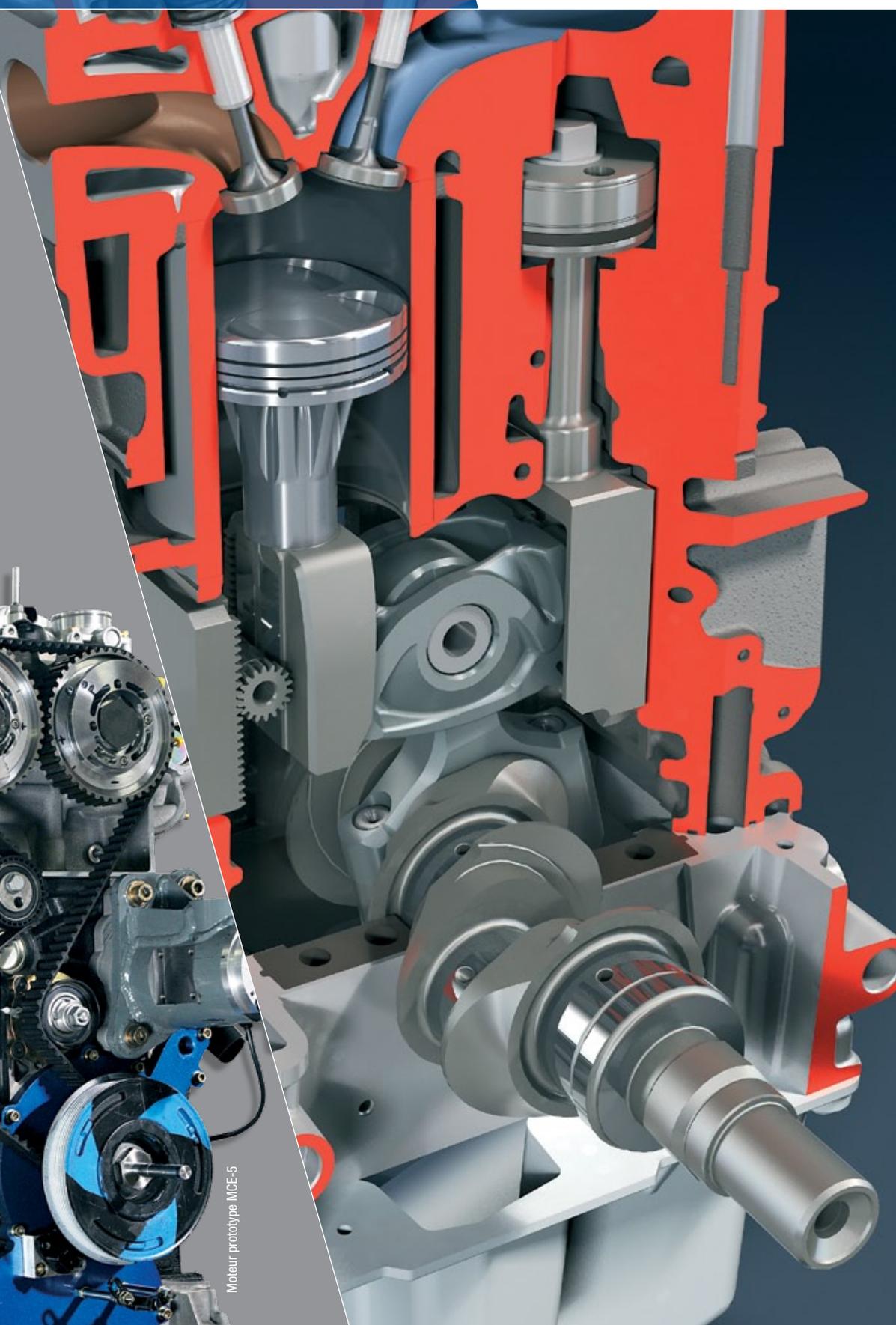
repousser les limites  
des moteurs à essence

**MCE-5**  
DEVELOPMENT

- Moins de consommation de carburant
- Moins de polluants
- Moins cher à l'achat
- Plus d'autonomie
- Plus de couple
- Plus de puissance
- Plus d'agrément



Moteur prototype MCE-5



# VCR-i

## MCE-5

■ En 2008, les moteurs sont plus sophistiqués et efficaces que ceux d'hier, mais moins que ceux de demain. Ils sont équipés de nombreux capteurs qui renseignent un calculateur sur la position de la pédale d'accélérateur, sur le débit d'air d'admission et la teneur en oxygène des gaz d'échappement ou encore, sur le régime de rotation. Le calculateur peut ainsi accéder à la demande en couple du conducteur, préparer un mélange d'air

## Contrôler le taux de compression : la clé de l'évolution des moteurs à essence



et de carburant en respectant toujours les bonnes proportions ou obtenir de la détente des gaz le plus de travail possible.

Le calculateur intervient sur le fonctionnement du moteur au moyen d'actionneurs qu'il pilote électriquement. Ces actionneurs lui servent, par exemple, à régler l'ouverture du papillon des gaz, la quantité de carburant injectée, le moment où s'ouvrent les soupapes, ou l'instant où est déclenchée la combustion au moyen d'une étincelle. Le calculateur dispose de "tables" dans lesquelles figurent les réglages à retenir pour chaque actionneur tenant compte des conditions de fonctionnement du moteur.

Le calculateur possède également des fonctions logiques qui lui permettent de calculer en temps réel, certaines valeurs ne figurant pas dans ses tables. Tous les moteurs modernes que nous utilisons aujourd'hui fonctionnent selon ces principes.

Il existe pourtant un paramètre essentiel sur lequel le calculateur n'avait jusqu'alors aucune emprise : le taux de compression.

Ce paramètre conditionne pourtant directement le rendement énergétique, les émissions polluantes et les performances en couple et en puissance du moteur. Depuis toujours, faute d'une technologie appropriée, on ne contrôle pas le taux de compression. Cette lacune se gère au prix d'une consommation accrue de carburant, d'un couple et d'une puissance limités et d'un moindre contrôle sur les émissions polluantes. Un taux de compression fixe constitue un véritable verrou technologique pour les moteurs à essence que le MCE-5 supprime en leur apportant le taux de compression variable. Cet actionneur nouveau - qui permet de contrôler le taux de compression - augmente drastiquement les performances et le rendement énergétique des moteurs à essence.

**Depuis toujours,  
faute d'une technologie  
appropriée, on ne  
contrôle pas le taux  
de compression.**

# MCE-5: une technologie prête à produire pour une nouvelle génération de moteurs à haut rendement énergétique

■ Ce qui en 2000 n'était qu'un objectif est aujourd'hui validé par le consortium de partenaires qui développe la technologie MCE-5. Les moteurs MCE-5 qui tournent au banc d'essai présentent déjà des consommations spécifiques beaucoup plus basses que celles des moteurs à essence classiques, délivrent un couple maximal extrêmement élevé de près de 250 Nm par litre de cylindrée et offrent un niveau de pertes par frottement inférieur aux meilleures références actuelles.

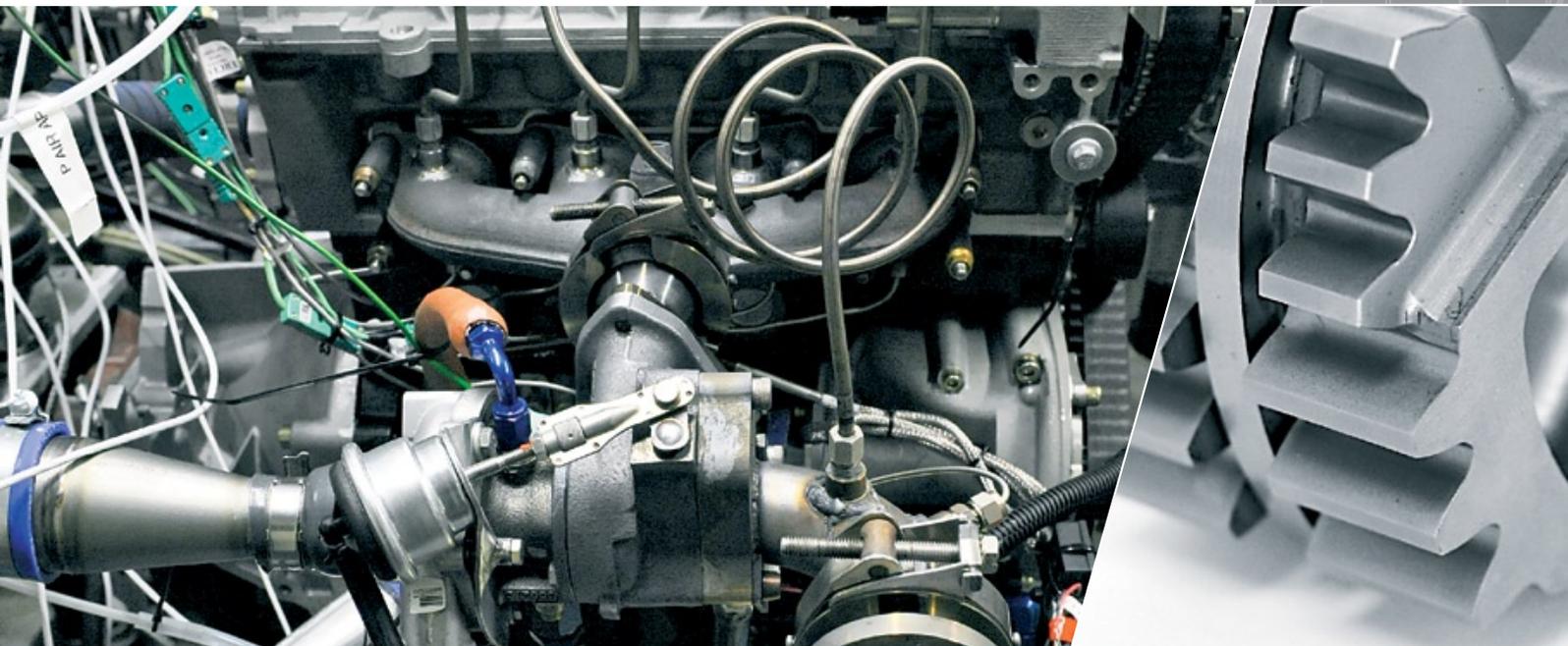
Les procédés de fabrication en grande série pour chacun des composants de la technologie MCE-5 ont été identifiés, testés et validés avec des industriels fournisseurs de 1<sup>er</sup> rang de l'industrie automobile. Le prix de revient de l'ensemble du moteur a été établi précisément en intégrant les investissements et les coûts opérationnels liés à la production de 2000 unités par jour à un horizon de temps situé entre 2012 et 2015.

En 2015, le prix du baril de pétrole devrait être de l'ordre de 200 dollars, et peut être même de 380 dollars selon l'analyse établie par Ixis - Corporate & Investment Bank en avril 2006.

La teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère sera d'environ 400 ppm (contre 380 aujourd'hui), de sorte que la pression réglementaire sur les émissions de CO<sub>2</sub> sera maximale, avec une pénalité

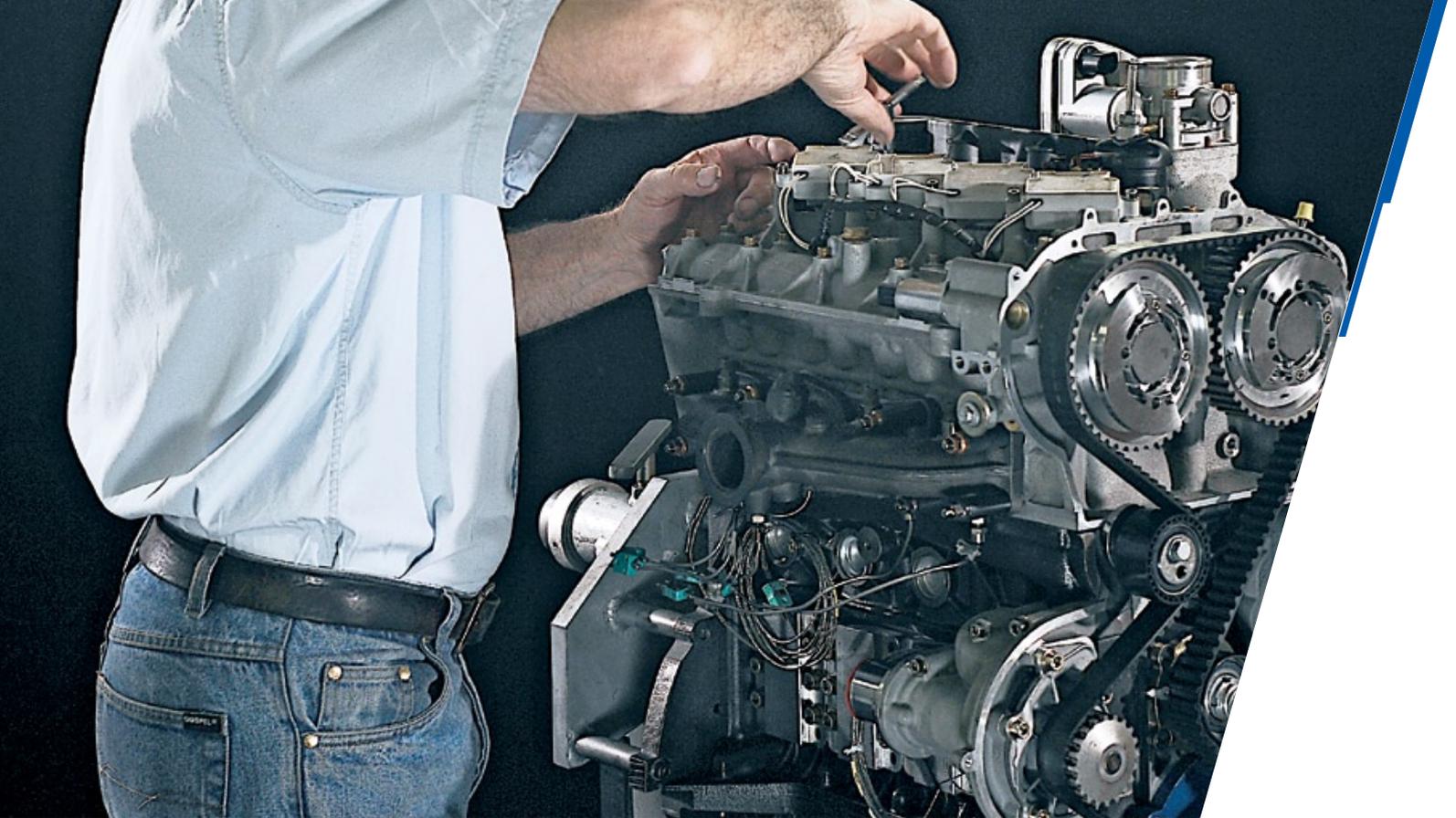
de l'ordre de 95 euros par gramme de CO<sub>2</sub> émis par kilomètre au-delà de 130 g de CO<sub>2</sub>/km. La norme EURO VI sera entrée en vigueur et les constructeurs automobiles n'auront d'autre choix que d'installer des filtres à particules et une SCR (réduction catalytique sélective) sur leurs véhicules à moteur Diesel pour en post-traiter les oxydes d'azote. Ces équipements coûtant cher à produire, les véhicules à moteur Diesel seront alors vendus en concession jusqu'à 5 000 euros de plus que leur équivalent à essence classique. En contrepartie, les faibles émissions de CO<sub>2</sub> des véhicules à moteur Diesel contribueront à en diminuer les pénalités CO<sub>2</sub> perçues par la Commission européenne. De la même façon, le prix exorbitant des véhicules hybrides sera en partie amorti par les économies réalisées sur les pénalités appliquées aux émissions de CO<sub>2</sub>, en plus de celles réalisées sur la moindre consommation en carburant. Les utilisateurs auront le choix entre payer plus cher un véhicule à basse consommation pour payer moins de taxes sur les émissions de CO<sub>2</sub> et moins de carburant, ou l'inverse.

Dans ce contexte financièrement contraignant, l'automobiliste pourra cependant opter pour l'achat d'un véhicule MCE-5. Un automobiliste qui achètera en 2015 un véhicule MCE-5 VCR-i



le paiera 4 000 euros de moins qu'un véhicule à moteur Diesel et jusqu'à 12 000 euros de moins qu'un véhicule hybride, à performances, consommation de carburant et émissions polluantes comparables. À ce titre, ce véhicule sera peu ou pas assujéti aux pénalités CO<sub>2</sub>. Ce véhicule sera simple, robuste, et proposera un excellent agrément de conduite. Son entretien sera également plus simple que celui des véhicules à moteur Diesel ou hybrides: pas de filtre à particule à entretenir, ni réservoir d'urée à remplir pour la SCR, ni de batteries coûteuses à remplacer qui rendent les véhicules difficiles à revendre sur le marché de l'occasion. Ce véhicule MCE-5 sera équipé d'un catalyseur 3-voies identique à celui des véhicules à essence actuels, qui lui permettra de respecter la norme EURO VI avec une importante marge de

manœuvre. Son autonomie sera comparable à celle d'un véhicule à moteur Diesel, de l'ordre de 1 000 km pour un réservoir d'essence de 60 litres, malgré une puissance maximale disponible comprise entre 150 et 220 ch pour un moteur de 1,5 litre de cylindrée. Sa durée de vie sera de l'ordre de 300 000 km sans aucun remplacement à prévoir de ses composants et équipements d'origine. En 2015, il ne sera donc plus nécessaire pour l'automobiliste de choisir entre payer plus de pénalités sur les émissions de CO<sub>2</sub>, ou plus pour le contenu technologique de son véhicule. Grâce à la technologie MCE-5, il économisera de l'argent sur l'achat de son véhicule, sur les pénalités CO<sub>2</sub>, et sur le carburant, sans renoncer au plaisir de disposer pour de longues années, d'un véhicule hautement performant.



## Produire des véhicules à basse consommation, performants et bon marché est une nécessité stratégique

■ Avec un baril de pétrole à 100 dollars et la menace toujours plus pressante du réchauffement climatique, il est nécessaire de réduire la consommation énergétique des véhicules automobiles le plus rapidement possible. Pourtant, on ne résoudra pas les problèmes liés à l'environnement et à l'énergie sans développer des véhicules à haute efficacité énergétique qui se vendent à large échelle. Pour cela, il faut que ces véhicules restent à la fois performants et bon marché. À quoi serviraient, en effet, des véhicules qui ne consommeraient plus rien (ce qui est impossible), mais qui ne représenteraient que 0,1 % des ventes parce qu'ils sont trop chers ? Ils ne serviraient qu'à réduire de 0,1 % la consommation énergétique et les émissions de CO<sub>2</sub> d'origine

automobile à échéance de 10 années, temps nécessaire au renouvellement du parc automobile. En revanche, des véhicules qui permettent de diminuer la consommation de 20 % seulement mais qui peuvent représenter 50 % des ventes totales vont permettre, à même échéance, de réduire la consommation énergétique et les émissions de CO<sub>2</sub> d'origine automobile de 10 %, soit 100 fois plus que le précédent exemple où le véhicule ne consommait plus rien. Il est donc fondamental que les véhicules à haute efficacité énergétique restent bon marché et performants pour pénétrer largement le marché. C'est là tout l'objet de la technologie MCE-5 qui présente la meilleure adéquation possible entre l'efficacité énergétique, la performance et le coût.



# MCE-5: offrir à la fois les avantages des véhicules Diesel et ceux des véhicules à essence

■ Un moteur Diesel délivre un fort couple dès les plus bas régimes et consomme peu de carburant. En conséquence, il tourne moins vite qu'un moteur à essence et offre une grande autonomie et un faible prix de revient à l'usage. En revanche, un moteur Diesel est cher à l'achat, il génère plus de bruit et de vibrations, et émet des particules fines et des oxydes d'azote, nuisibles à la santé. À l'opposé des moteurs Diesel, les moteurs à essence offrent peu de couple à bas régime, tournent plus vite et consomment beaucoup de carburant. En revanche, ils sont souples, silencieux, bon marché, et émettent peu de polluants. La technologie MCE-5 VCR-i regroupe dans un même moteur les avantages des moteurs Diesel et des moteurs à essence. Un moteur MCE-5 propose un couple à bas régime plus élevé que celui d'un moteur Diesel, ce qui lui autorise un faible régime de rotation, avec une consommation et une autonomie comparables.

Ses émissions acoustiques et vibratoires sont identiques à celles d'un moteur à essence classique, avec le même silence de fonctionnement et la même onctuosité. Son prix d'achat est largement inférieur à celui d'un Diesel. Étant plus sophistiqué, le MCE-5 reste cependant plus cher qu'un moteur classique dans le cas d'un véhicule d'entrée de gamme, même s'il reste alors très rentable, avec moins de 60 000 km à parcourir pour l'amortir. S'agissant des véhicules de moyen à haut de gamme, le MCE-5 est moins cher que le moteur classique qui les équipe jusqu'à aujourd'hui tout en proposant une forte réduction de consommation de carburant. Le MCE-5 émet moins de polluants qu'un moteur à essence classique car son taux de compression variable permet de mieux exploiter le catalyseur 3-voies. Dans un futur proche, les véhicules MCE-5 bénéficieront des qualités des véhicules Diesel et des véhicules à essence, sans en hériter des défauts.



## ■ Un moteur high-tech

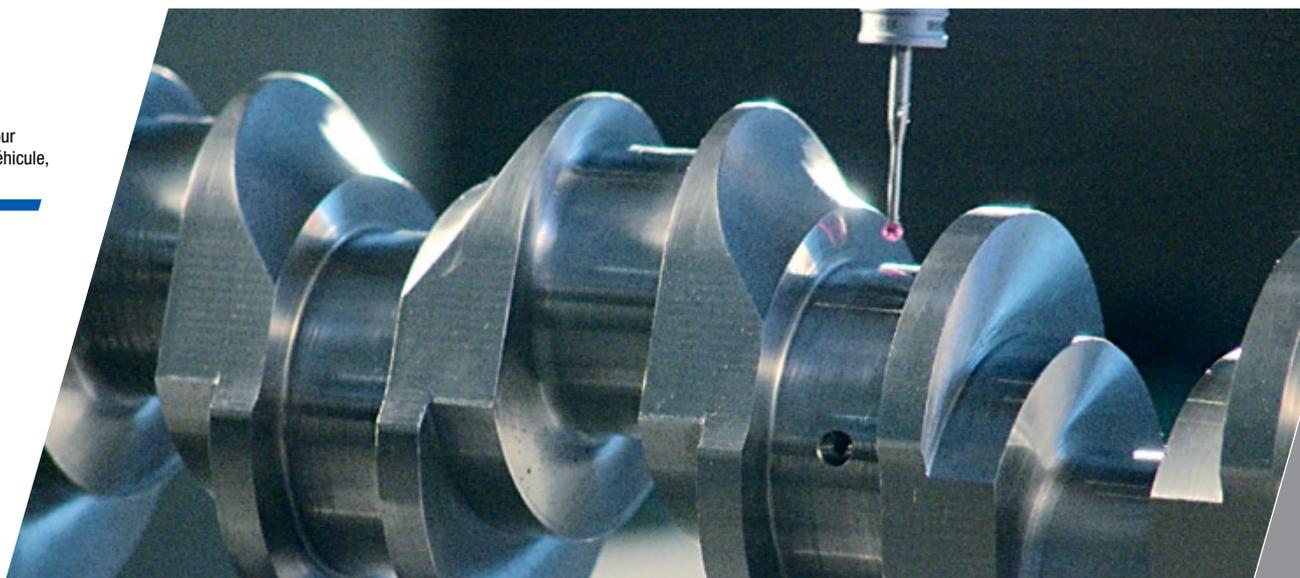
■ La roue dentée du MCE-5 est un pur produit de haute technologie. Elle permet, à la fois la transmission de la puissance et le réglage du taux de compression. À 6 000 tours/min, cette pièce obtenue par forgeage de précision change de sens de rotation 120 fois par seconde. Au couple maximal du moteur, elle assume des efforts de plus de 4 tonnes jusqu'à 30 fois par seconde.

Elle transmet les efforts de poussée de la bielle au carter du moteur par ses bandes de roulement à haute résistance à la pression. Pour ne pas dissiper le travail produit par la combustion des gaz, son rendement énergétique est de 0,997, ce qui veut dire que seulement trois pour mille du travail qu'elle transmet est perdu sous forme de chaleur. Pour fonctionner en silence, elle conserve un jeu opérationnel de l'ordre de 30 microns. Sa denture à la géométrie exclusive est d'une grande précision. Ses dents présentent une dureté de surface élevée pour assumer des pressions de plus de 15 tonnes par centimètre carré, et une grande résistance à la fatigue pour une durée de vie de plusieurs milliards de cycles en efforts alternés. Sa géométrie complexe, presque organique, fait participer chaque millimètre cube de sa structure et lui permet avec un minimum de matière, de fléchir de seulement quelques centièmes de millimètre sous les charges les plus extrêmes. Cette pièce est réalisée en acier cémenté et coûte 15 euros à produire en grande série.





Le MCE-5 est pleinement rentable pour l'automobiliste, depuis le plus petit véhicule, jusqu'au véhicule le plus performant.



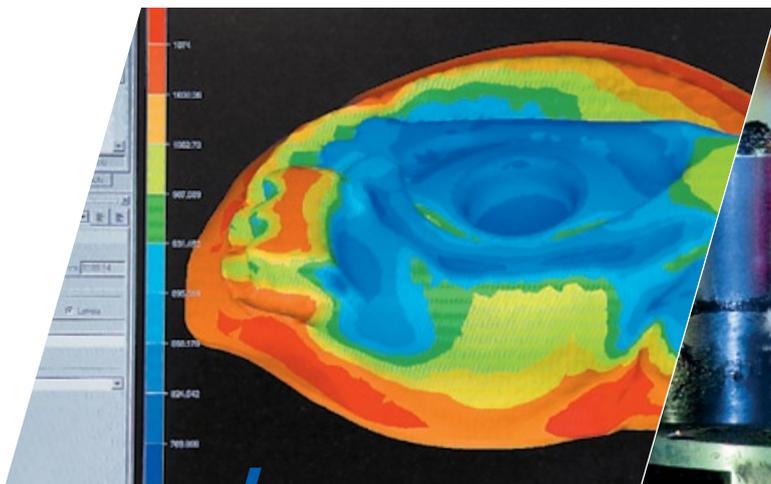
■ Les MCE-5 prototypes montés au banc d'essai délivrent déjà plus de 360 Nm de couple dès 1 800 tours par minute, pour une cylindrée de 1 500 cm<sup>3</sup>. À 2 200 tr/min, ils délivrent déjà 110 ch. Leur puissance maximale est de 220 ch à 5 000 tr/min. Ils peuvent avantageusement remplacer un V6 de 3,0 litres de cylindrée en offrant la même puissance mais plus de couple, positionné à un régime moins élevé et donc plus exploitable. Uniquement sur ces aspects de réduction de la cylindrée (downsizing) et de réduction du régime du moteur (downspeeding), la réduction de consommation est de l'ordre de 25 %. À cela, il faut ajouter le niveau exceptionnellement faible des pertes par frottement

**360 Nm de couple  
dès 1 800 tours  
par minute,  
pour une cylindrée  
de 1 500 cm<sup>3</sup>.**

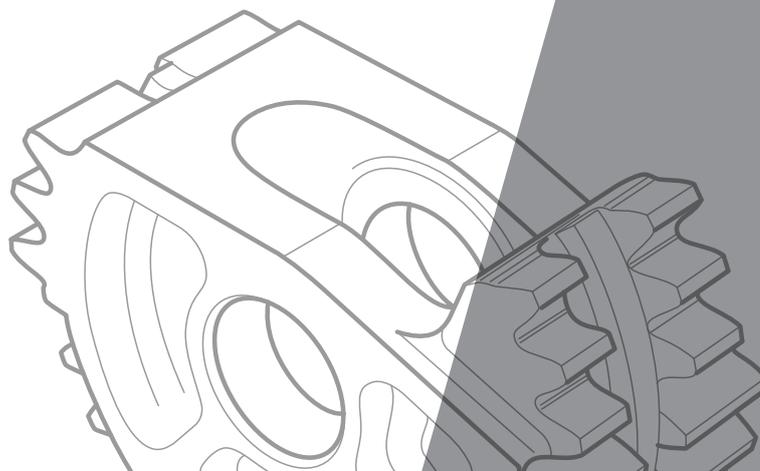
général par ces moteurs, inférieur à celui des moteurs classiques, grâce à l'amélioration des conditions de fonctionnement du piston et des segments. La consommation de carburant sur les faibles charges est réduite de plus de 12 % uniquement du fait d'un taux de compression plus élevé. La réduction totale de carburant est comprise entre 20 % sur le plus petit véhicule et plus de 35 % sur les gros véhicules.

Dès 2009, la prochaine génération de moteurs MCE-5 comprendra

l'injection directe d'essence et intégrera les stratégies les plus avancées prévues pour les futurs moteurs à essence pour aller plus loin encore dans l'amélioration des performances, de l'efficacité énergétique et de la dépollution.



Les procédés de fabrication en grande série du MCE-5 ont été mis au point dans le cadre de programmes multi-partenaires.



## Les enjeux liés aux émissions de gaz à effet de serre et à la réglementation

■ La combustion d'un kilo de pétrole produit environ 3,12 kg de CO<sub>2</sub> qui sont émis dans l'atmosphère. Le CO<sub>2</sub> est un Gaz à Effet de Serre (GES) en grande partie responsable du changement climatique. Entre le début de l'ère industrielle et aujourd'hui, la teneur en CO<sub>2</sub> de notre atmosphère est passée de 280 ppm (parties par million) à 380 ppm. La teneur en CO<sub>2</sub> croît désormais au rythme de 2 ppm par an, soit 4 fois plus vite qu'en 1960.

Comme le met en évidence le rapport de Nicolas STERN - ancien responsable de la Banque mondiale, si les gouvernements ne

prennent pas des mesures radicales au cours des dix prochaines années, les conséquences des émissions de gaz à effet de serre devraient coûter, à l'économie mondiale, jusqu'à 5,5 trillions d'euros (5 500 milliards d'euros). Ce coût serait alors supérieur à celui des deux guerres mondiales et de la Grande Dépression de 1929 réunies, tout en rendant de grandes parties de la planète inhabitables.

Mobilisée pour anticiper ces problèmes, l'Europe a réduit ses émissions totales de gaz à effet de serre de 5 % entre 1990

et 2004. Durant la même période, les émissions de CO<sub>2</sub> dues au transport européen ont pourtant augmenté de 26 %, les progrès ayant été réalisés hors transport. Cet accroissement des émissions dues au transport provient d'un développement important de la mobilité des biens et des personnes. Pour enrayer cette tendance, diverses réglementations seront prochainement applicables aux véhicules de tourisme en Europe : en 2012, ils ne devront pas émettre en moyenne plus de 130 g de CO<sub>2</sub> par kilomètre. En conséquence, les véhicules vendus en Europe en 2012 seront surtaxés de 20 euros pour chaque gramme de CO<sub>2</sub> émis au-delà de cet objectif de 130 g. En 2015, cette surtaxe passera à 95 euros et pourra représenter plusieurs milliers d'euros pour un véhicule de moyenne gamme. S'agissant de véhicules de

haut de gamme, cette surtaxe pourra atteindre 10 000 euros, voire davantage. Ces mesures tendent à dissuader les consommateurs d'acheter des véhicules à forte

consommation de carburant, et sont de nature à redéfinir les équilibres économiques de l'industrie automobile. La seule issue pour l'industrie automobile, c'est de développer le plus rapidement possible des véhicules propres et à faible consommation de carburant, sans en sacrifier les performances.

La teneur en CO<sub>2</sub> de notre atmosphère croît désormais au rythme de 2 ppm par an, soit 4 fois plus vite qu'en 1960.

## Le pétrole et l'automobile

■ Le pétrole est abondant, d'une extraordinaire densité énergétique (énergie contenue par kilo) et d'une grande flexibilité d'usage. C'est une ressource qu'a créée la nature au hasard de son évolution et sans laquelle l'automobile n'aurait pas pu se développer au niveau que l'on connaît. C'est pourquoi l'automobile dépend toujours du pétrole à plus de 98 %, qu'il s'agisse de l'essence ou du gazole. Ceci explique également pourquoi nos automobiles sont toujours propulsées par un moteur thermique : ce n'est pas une volonté, c'est la conséquence de l'existence du pétrole. Nous n'avons en effet rien trouvé de mieux pour transformer l'énergie contenue dans le

pétrole en travail mécanique que de le brûler directement dans la chambre de combustion d'un moteur thermique dit "à combustion interne". Personne n'a jamais inventé de moteur différent qui permette de propulser une automobile dans de meilleures conditions fonctionnelles et économiques. Cependant, cette dépendance de l'automobile au pétrole est source de bien des inquiétudes car les pays industrialisés ne sont plus seuls à vouloir jouir des avantages du pétrole. D'autres pays se déve-

L'automobile dépend toujours du pétrole à plus de 98 %, qu'il s'agisse de l'essence ou du gazole.

loppent et passent progressivement à une économie basée sur cette ressource énergétique. Ceci provoque de fortes tensions sur les marchés de l'énergie. Comme le pétrole n'existe qu'en quantité finie dans le sous-sol terrestre, de géostratégique, la crise pétrolière deviendra progressivement géologique et nous allons rapidement nous trouver dans l'impossibilité de satisfaire la demande mondiale. L'ère du pétrole "facile et bon marché"

va progressivement laisser la place à l'ère du pétrole "difficile d'accès et cher" dont l'extraction deviendra de plus en plus lente. Sauf récession mondiale provoquant un net fléchissement de la demande, le pétrole, aujourd'hui aux en-

virons de 100 dollars le baril, poursuivra alors son ascension vers des prix toujours plus élevés. Le problème est qu'il n'existe pas d'alternative au pétrole qui soit généralisable pour propulser les automobiles, hormis le gaz naturel qui est soumis aux mêmes tensions. Ce sera donc bien aux automobiles de devenir plus économes, afin que le coût de l'énergie ramené au kilomètre parcouru, reste le plus faible possible le plus longtemps possible.

## Les biocarburants

Fondamentalement, nos automobiles fonctionnent à l'énergie solaire. Le pétrole est de l'énergie solaire stockée depuis des millions d'années que l'on trouve dans le sous-sol terrestre, tandis que le biocarburant est de l'énergie solaire stockée sur l'année en cours, et qui se collecte en surface. Le principe du biocarburant, c'est d'utiliser les champs de colza ou de palmier à huile comme d'immenses capteurs solaires qui synthétisent des sucres et des graisses que l'on peut ensuite convertir en carburant. Le principal problème des biocarburants est leur impact sur la nature. Il est, en effet, impératif que leur déploiement ne conduise pas à une crise alimentaire. Le choix de la filière du "pétrole vert" au détriment de celle visant à nourrir la population, peut conduire à l'épuisement des terres agricoles et des ressources en eau. Par ailleurs, l'impact final des intrants agricoles sur la stérilisation des sols et la pollution des nappes phréatiques doit être géré avec la plus grande attention, qu'il s'agisse des

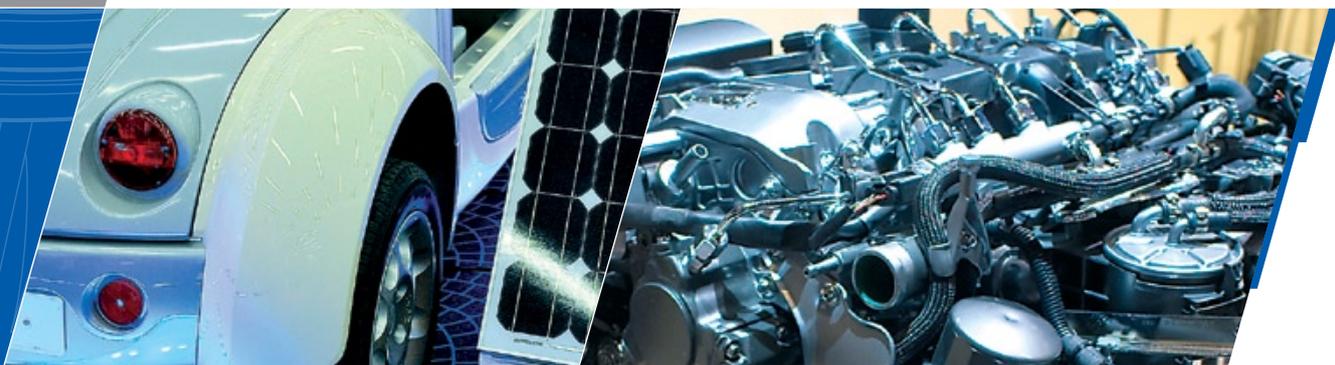
pesticides ou des engrais. De plus, les conséquences négatives de l'intensification de la monoculture au détriment de la biodiversité et de l'accélération de la déforestation pour libérer des terres agricoles, reste une inquiétude de premier rang. Sauf à être produits dans des zones désertiques - avec des algues, par exemple - les biocarburants ne devront constituer qu'un appoint raisonné, mélangé en de faibles proportions aux carburants pétroliers. L'usage des biocarburants en appelle à une véritable politique de modération de la consommation, quel que soit le prix du baril de pétrole. Plus encore qu'avec les produits pétroliers, il sera donc nécessaire de faire le meilleur usage possible des biocarburants, en les consommant dans des moteurs thermiques réellement "Flexfuel" et à haute efficacité énergétique. Les moteurs à taux de compression variable resteront seuls en mesure de répondre pleinement à cette problématique.



## L'hydrogène

L'hydrogène ne se trouve pas dans la nature et il faut le produire à partir d'une autre source d'énergie. Il s'agit d'un vecteur d'énergie et non d'une source d'énergie. Le seul intérêt de l'hydrogène réside dans la possibilité d'utiliser différentes sources d'énergie pour le produire, qu'il s'agisse, par exemple, d'énergie nucléaire ou d'énergies renouvelables. Cependant, l'utilisation de l'hydrogène induit une somme considérable de pertes d'énergie car il faut d'abord le produire, puis le comprimer ou le cryogéniser pour le rendre stockable, puis, le convertir en travail mécanique que ce soit au moyen d'une pile à combustible ou d'un moteur thermique. Le rendement total de cet ensemble d'opérations est faible, à tel point que le recours à l'hydrogène n'a de sens que si une source d'énergie abondante et bon marché est disponible pour le produire, provenant par exemple, de la fusion nucléaire. Il n'est en effet nullement intéressant de convertir de l'énergie fossile en hydrogène pour convertir ce dernier en travail dans une pile ou un moteur thermique : le rendement est bien meilleur en consommant directement cette énergie fossile dans un moteur thermique classique. L'hydrogène appliqué à l'automobile reste donc un sujet d'anticipation, sans application significative avant le milieu du XXI<sup>e</sup> siècle, dans le meilleur des cas.





## ■ Les véhicules électriques

■ L'énergie disponible pour mouvoir un véhicule correspond à l'énergie stockée dans son réservoir, multipliée par le rendement du moteur et de son dispositif de transmission. Dans le cas d'un véhicule à essence, le réservoir de carburant contient une énorme quantité d'énergie, mais celle-ci est transformée en travail par un moteur thermique dont le rendement n'est en moyenne que de l'ordre de 20 %. À l'inverse, un véhicule électrique embarque peu d'énergie, exploitée par un moteur dont le rendement est élevé, de l'ordre de 95 %. Le problème des véhicules électriques, c'est qu'un kilo de batterie contient entre 300 fois moins d'énergie qu'un kilo d'essence pour les classiques batteries au plomb, et 70 fois moins d'énergie qu'un kilo d'essence si l'on parle de batteries Ion Lithium. Le rapport des rendements entre moteur électrique et moteur thermique reste toujours plus faible que le rapport entre l'énergie stockée dans 1 kg d'essence et un kilo de batteries. Dans ces conditions, il est impossible d'assurer une autonomie à un véhicule électrique comparable à celle d'un véhicule à essence. En effet, pour un véhicule qui nécessite 15 kW de puissance, lorsqu'il roule à 120 km/h, 100 kg de batteries au plomb vont lui permettre de parcourir 32 km, tandis

que 100 kg de batteries Ion Lithium vont lui permettre d'en parcourir 135. Il faut mettre cela en face des véhicules à moteur thermique, qui avec seulement 44 kg d'essence (60 litres), vont pouvoir parcourir 840 km, tous rendements pris en compte.

Par conséquent, le véhicule électrique n'a d'avenir qu'en usage strictement urbain, là où peu de puissance est nécessaire, où les distances parcourues restent limitées, et où il est avantageux de

n'émettre aucun polluant.

Concernant les émissions de CO<sub>2</sub>, les véhicules électriques n'apportent pas de gain significatif par rapport aux véhicules à moteur thermique si l'énergie primaire utilisée pour produire l'électricité stockée dans leurs batteries est d'origine fossile (charbon, gaz ou pétrole), ce qui est le cas pour 67 % de l'électricité produite dans le monde. L'enjeu est donc de produire l'électricité destinée aux véhicules électriques avec de l'énergie nucléaire ou renouvelable, pour leur donner un intérêt supplémentaire.

**Il est impossible d'assurer une autonomie à un véhicule électrique comparable à celle d'un véhicule à essence.**

## ■ L'avenir du Diesel

■ Les véhicules à moteur Diesel représentent aujourd'hui environ la moitié des ventes européennes de véhicules neufs. En France, cette proportion dépasse les 70 %. Les véhicules à moteur Diesel sont appréciés pour leur faible consommation et leur couple élevé disponible dès les plus bas régimes. La remarquable évolution des Diesel de ces dernières années est

**La remarquable évolution des Diesel de ces dernières années est majoritairement due à la technologie common-rail appliquée à l'injection directe.**

majoritairement due à la technologie common-rail appliquée à l'injection directe.

Cette stratégie a permis de baisser la consommation de carburant des

véhicules à moteur Diesel de 23 % entre 1993 et 2000 (contre 8 % seulement pour les véhicules à essence sur la même période) et d'en augmenter massivement le couple et la puissance spécifiques. Ces évolutions ont conféré au Diesel une nouvelle attractivité qui lui a assuré une forte pénétration du marché européen. Le large succès commercial des Diesel et leur faible consommation ont participé à faire baisser significativement les émissions moyennes de CO<sub>2</sub> par kilomètre des véhicules neufs

vendus en Europe, qui est passé de 186 g en 1995 à 162 g en 2005. Un moteur Diesel reste en revanche plus cher d'environ 1 000 euros à produire qu'un moteur à essence, à mêmes performances, ce qui se traduit par environ 2 000 euros de plus à l'achat pour le client final. Jusqu'à aujourd'hui, ce surcoût a été accepté par les clients au vu des avantages proposés.

Le principal problème pour le Diesel va provenir des nouvelles normes européennes relatives aux émissions polluantes.

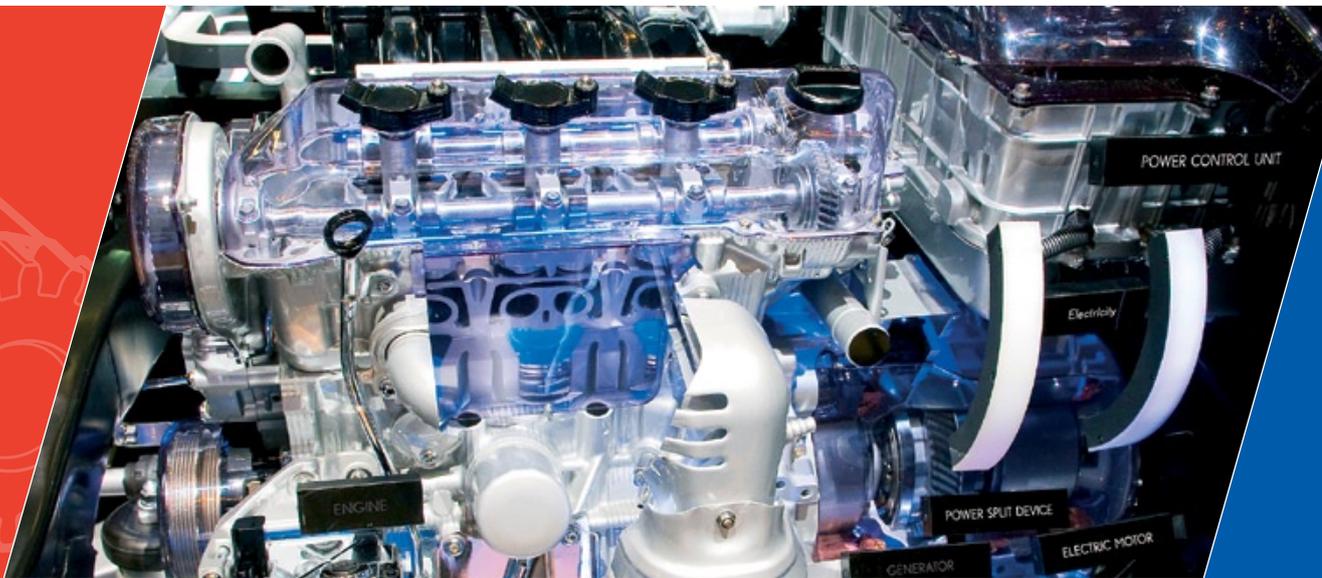
À l'horizon 2015, il n'y aura guère d'autre solution que d'installer un filtre à particules et un système de post-traitement des oxydes d'azotes de type SCR (réduction catalytique sélective) sur les Diesel pour les rendre conformes à la norme EURO VI. Ceci va induire une augmentation du prix de revient en fabrication des véhicules à moteur Diesel de l'ordre de 1 500 euros. Dans de telles conditions, la rentabilité des véhicules d'entrée à milieu de gamme propulsés par un moteur Diesel ne pourra plus être assurée. Deux stratégies sont étudiées à l'heure actuelle par les constructeurs : d'une part, développer des moteurs Diesel dont la combustion produit peu ou pas de polluants (combustion de charges dites homogènes) de sorte à éviter l'emploi de coûteux systèmes de post-traitement, d'autre part, remplacer les moteurs Diesel par des moteurs à essence plus économiques que ceux produits actuellement.

## ■ L'injection directe d'essence

■ Les moteurs à essence n'ont pas connu de métamorphose radicale ces dernières années, comme l'ont connue les moteurs Diesel avec l'injection directe. Cependant, l'injection directe est aujourd'hui appliquée à l'essence avec succès, mais l'utilisation qui en est faite est finalement différente de celle qui a été envisagée initialement. En effet, dans un premier temps, on a tenté d'utiliser l'injection directe pour "diéséliser" les moteurs à essence. L'idée était de réaliser un mélange extrêmement pauvre selon la stratégie de la charge stratifiée, de sorte qu'il reste possible d'en déclencher la combustion avec une étincelle.

L'objectif était de bénéficier de l'avantage des Diesel qui - comme ils fonctionnent en excès d'air - ne présentent pas les pertes par pompage des moteurs à essence. Cette stratégie s'est avérée peu payante car on retrouve alors l'un des principaux problèmes des Diesel : le post-traitement problématique et coûteux des NOx

en milieu oxydant. L'injection directe d'essence trouve toutefois tout son intérêt lorsqu'elle est couplée à la suralimentation. Elle permet de fortement réduire la cylindrée des moteurs afin d'en réduire la consommation suivant la stratégie du "downsizing", mais sans pour autant en réduire trop fortement le taux de compression, ce qui augmenterait à nouveau la consommation. Cette stratégie reste donc un compromis. À terme, la meilleure solution sera de coupler l'injection directe et le taux de compression variable. Cette association permettra de concevoir des moteurs sans se préoccuper de trouver, comme aujourd'hui, un compromis acceptable entre le taux de downsizing et le taux de compression. Ceci permettra aux moteurs à essence de délivrer un couple à bas régimes le plus élevé possible, avec un niveau de puissance et de rendement énergétique maximal.



## ■ Les véhicules hybrides

■ À l'utilisation, les véhicules hybrides émettent nettement moins de CO<sub>2</sub> par kilomètre que les véhicules ordinaires. Cependant, si on établit le bilan des émissions de CO<sub>2</sub> induites par la fabrication, l'entretien et le démantèlement en fin de vie des véhicules hybrides, diverses études démontrent que rapporté aux performances et au kilomètre parcouru, ces véhicules émettraient finalement plus de CO<sub>2</sub> que la plupart des véhicules classiques (cf. étude du CNW Marketing Research - avril 2007).

En outre, avec un surcoût en fabrication compris entre 3 000 et 6 000 euros en

fonction de leur puissance, les véhicules hybrides sont chers de sorte que leur pénétration du marché reste faible. Ceci limite leur possible impact sur les émissions globales de gaz à effet de serre (les véhicules hybrides représentaient 0,1 % des ventes européennes en 2005). Pour diminuer le prix de revient des hybrides, des progrès restent à faire sur les batteries,

les moteurs électriques et l'électronique de puissance, c'est-à-dire sur des composants sur lesquels l'industrie travaille depuis plusieurs décennies. Ceci réduit les probabilités d'un saut technologique significatif à court terme permettant d'atteindre les objectifs. Il faut également replacer l'hybridation dans son

contexte : cette stratégie reste un moyen de gérer le mauvais rendement à faibles charges des moteurs thermiques, en évitant de les utiliser sur ces points de fonctionnement. L'hybridation n'apporterait rien à un moteur thermique qui aurait un rendement constant

**L'hybridation n'apporterait rien à un moteur thermique qui aurait un rendement constant sur toute sa plage d'utilisation.**

sur toute sa plage d'utilisation, sauf à permettre de récupérer une part de l'énergie cinétique du véhicule ordinairement perdue au freinage. Plus le rendement d'un moteur thermique est constant, plus le bénéfice de l'hybride est faible. La démarche la plus pertinente est d'améliorer le rendement des moteurs thermiques là où il est le plus mauvais, de sorte à se passer de l'hybride.

## Les limites actuelles des moteurs à essence



■ Le cliquetis constitue un point bloquant majeur qui interdit d'obtenir d'un moteur à essence, à la fois un couple maximal élevé et un rendement moyen élevé. Le cliquetis est l'inflammation spontanée et non contrôlée du mélange air-carburant. C'est un phénomène totalement indésirable car destructeur pour les moteurs. Ce phénomène apparaît d'autant plus rapidement que le mélange carburé est soumis à une température et à une pression élevées. L'indice d'octane caractérise la résistance des carburants à l'auto-inflammation : plus cet indice est élevé, plus le carburant est résistant au cliquetis. L'essence vendue en Europe présente un indice d'octane de 95 ou de 98.

Pour les moteurs à essence, on recherche des carburants dont l'auto-inflammation intervient le plus tard possible, donc avec un indice d'octane le plus élevé possible. Pour les moteurs Diesel, on recherche, au contraire, des carburants dont l'auto-inflammation intervient le plus tôt possible, avec un indice de cétane élevé. Monter le taux de compression des moteurs à essence en augmente le rendement moyen, mais aussi la pression et la

température qui règne dans la chambre de combustion. En ce cas, pour éviter le cliquetis, il faut brider le couple maximal du moteur. Si l'on veut, au contraire, disposer d'un couple maximal élevé, il faut renoncer à un rendement moyen élevé en diminuant le taux de compression pour éviter le cliquetis : c'est la quadrature du cercle. Les principales stratégies pour contrer ce phénomène consistent à refroidir le mélange air-carburant avec de l'injection directe, à le diluer avec des gaz brûlés qui agissent comme modérateur de cliquetis, ou à le brûler suffisamment vite pour que le cliquetis n'ait pas le temps d'apparaître.

Ces contradictions qui existent sur un moteur à taux de compression fixe disparaissent dans le cas d'un moteur à taux de compression variable, car en tout point de fonctionnement, il est possible de régler la pression et la température appliquées au mélange carburé, en fonction de l'indice d'octane du carburant utilisé. Cette caractéristique permet d'obtenir d'un moteur à essence, à la fois un couple à bas régimes et un rendement moyen comparables, voire supérieurs, à ceux d'un moteur Diesel.

### MCE-5 DEVELOPMENT SA

Immeuble Le Danica • 21 avenue Georges-Pompidou  
F-69486 LYON CEDEX 03  
Tél. +33 (0)4 78 39 40 27 • Fax +33 (0)4 78 30 95 38  
info@mce-5.fr

[www.mce-5.fr](http://www.mce-5.fr)

