

## ***Carter multicylindre VCR MCE-5: un ensemble de solutions pour la production en grande série.***

L'évolution des moteurs depuis le taux de compression fixe vers le taux de compression variable est un saut technologique majeur pour l'automobile. Toutefois, produire des véhicules VCR nécessite une technologie robuste, fiable et durable qui permette de maîtriser le rapport volumétrique avec la plus grande précision. Le carter multicylindre MCE-5, dont une première version va être mise au banc en mai 2006, est développé pour tenir ces objectifs.

**Haute précision  
de contrôle  
du taux de  
compression  
de 7:1 à 18:1**

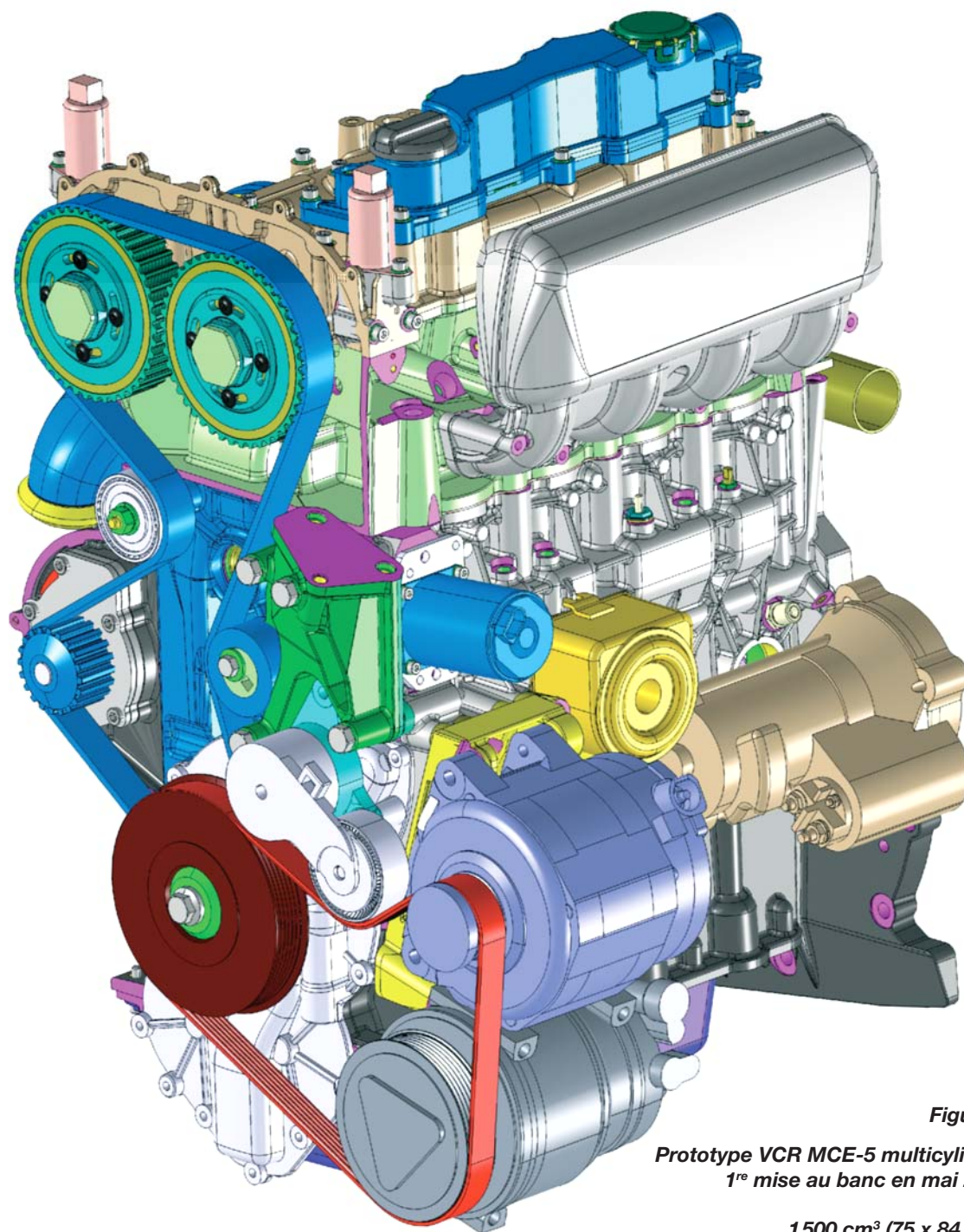
Ce carter multicylindre conserve au mécanisme MCE-5 sa grande précision de contrôle du taux de compression et sa cinématique de piston qui définit une loi de variation du volume de la chambre de combustion en parfaite conformité avec l'art antérieur. Rappelons que si la précision du taux de compression est nécessaire pour obtenir les meilleurs gains en consommation, la cinématique de piston impacte directement sur le remplissage du cylindre, la turbulence et les transferts thermiques gaz-paroi dont dépendent le couple maxi, la vitesse de combustion, la résistance au cliquetis et le rendement.

Le carter multicylindre MCE-5 est donc développé pour mettre en œuvre toutes les stratégies VCR sans limitation ni contrainte et pour obtenir de ces stratégies une efficacité maximale, sans risque associé. Par ailleurs, ce carter préserve tout le potentiel de la technologie MCE-5 à réduire les pertes par frottement et à augmenter la résistance et la

durabilité mécanique des moteurs. À ce titre, le piston guidé reste une caractéristique exclusive de la technologie MCE-5 qui simplifie radicalement les règles de conception des

pistons: il n'est plus nécessaire de gérer le piston slap ou l'effort radial qui impacte directement sur les frottements, le blow-by, le bruit, l'usure et la consommation d'huile.

Prises en compte dès l'origine du projet MCE-5, la précision du taux de compression, la cinématique de piston, les pertes par frottement ou la fiabilité constituent les principaux



**Figure 1**

**Prototype VCR MCE-5 multicylindre  
1<sup>re</sup> mise au banc en mai 2006**

**1500 cm<sup>3</sup> (75 x 84 mm)  
160 kW - 300 Nm**

suite p. 2...



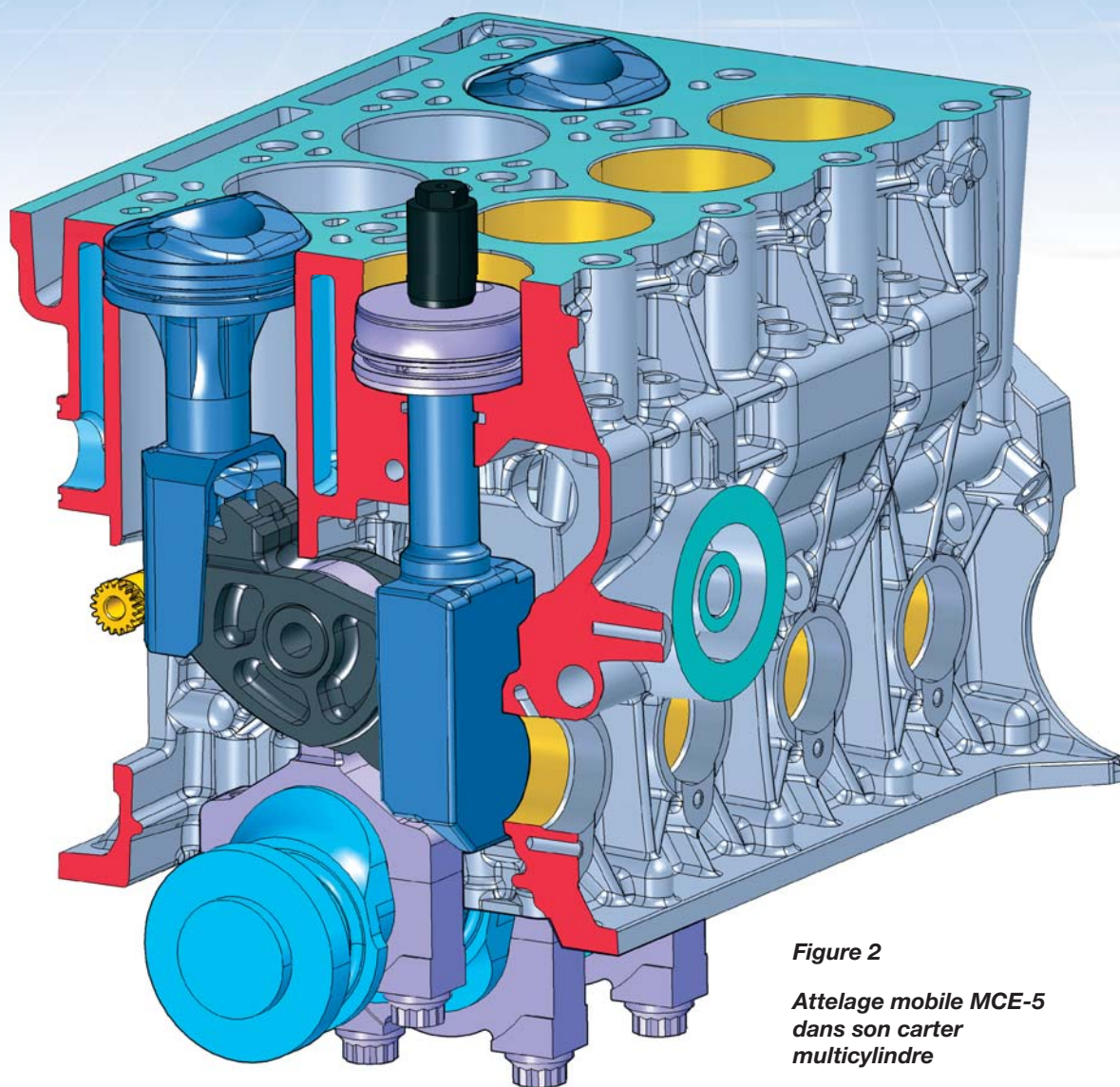


Figure 2

Attelage mobile MCE-5  
dans son carter  
multicylindre

fondements d'un moteur VCR produit en grande série. Notons que selon qu'elles sont améliorées ou dégradées par rapport à celles des moteurs conventionnels, ces caractéristiques peuvent majorer ou minorer l'efficacité du taux de compression variable au point d'en faire un succès ou un échec (cf. tableau ci-dessous).

Par rapport à ce qui a été présenté jusqu'à ce jour, l'architecture du moteur a été optimisée et simplifiée en vue de sa production industrielle : il n'y a plus de culasse spécifique aux vérins de commande, mais une culasse commune aux chambres de combustion et aux chambres supé-

rieures des vérins de commande. Les vérins sont placés du côté froid de la culasse, sous les conduits d'admission.

### Une architecture rigide et compacte

Cette architecture donne une grande rigidité à la culasse qui est désormais fixée au carter cylindre avec 15 vis de longueur identique et qui ne nécessite qu'un seul joint d'étanchéité. L'usinage de la face compression ne présente pas de difficulté particulière et permet de loger à la fois les chambres de combustion et les vérins de commande dans une largeur de

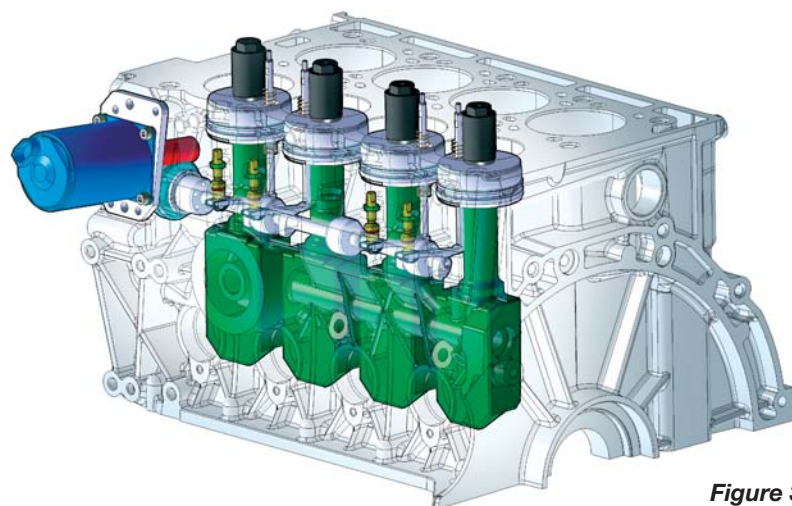


Figure 3

Système de contrôle du taux de compression  
par commande commune et réglage initial indépendant

### Impact potentiel sur la consommation des principaux critères d'un moteur VCR

Critère considéré par rapport aux moteurs classiques	Identique	Amélioré	Dégradé
Niveau des pertes par frottement	0 %	+2 %	-2 %
Cinématique de piston, loi de variation du volume	0 %	0 %	-3 %
Précision et étendue de contrôle du taux de compression	-	+2 %	-2 %
<b>TOTAL: impact potentiel sur le rendement</b>	<b>0 %</b>	<b>+4 %</b>	<b>-7 %</b>

seulement 30 mm supérieure à celle d'un moteur 2.0L à taux fixe. Cette largeur additionnelle est bien entendu à rapprocher du couple et de la puissance spécifiques du moteur qui sont deux fois plus élevés que ceux d'un moteur conventionnel.

Le plan de joint de la culasse commune offre les espaces nécessaires au passage des canaux de liquide de refroidissement et de lubrification sous pression, ainsi qu'au passage des retours d'huile vers le carter et des conduits de circulation des gaz de blow-by.

Le mécanisme qui permet de contrôler le taux de compression est placé sous les vérins de commande et comporte un arbre à excentriques qui est entraîné en rotation par un servomoteur électrique issu du système Valvetronic de BMW. Une liaison irréversible roue/vis-sans-fin assure la transmission entre le servomoteur et l'arbre à excentriques. Le servomoteur du Valvetronic offre une puissance environ 30 % supérieure à celle requise par le système MCE-5 même avec des temps de changement de taux mini (7:1) à taux maxi (18:1) ou inversement, inférieurs à 100 ms.

Des culbuteurs viennent prendre appui sur l'arbre à excentriques et maintiennent les tiges de contrôle des vérins de commande à la position voulue. Un dispositif de réglage accessible sur le côté du moteur permet d'ajuster le taux de compression initial de chaque cylindre indépendamment (figure 3). Ce dispositif permet en une seule opération de compenser le cumul de toutes les dispersions dimensionnelles



de fabrication du moteur et de son système de commande de sorte que l'altitude initiale des pistons est maîtrisée avec des écarts d'un cylindre à l'autre de l'ordre de 0,01 à 0,02 mm. Ceci a pour autre conséquence positive de desserrer les tolérances de fabrication du moteur et d'en réduire les coûts associés.

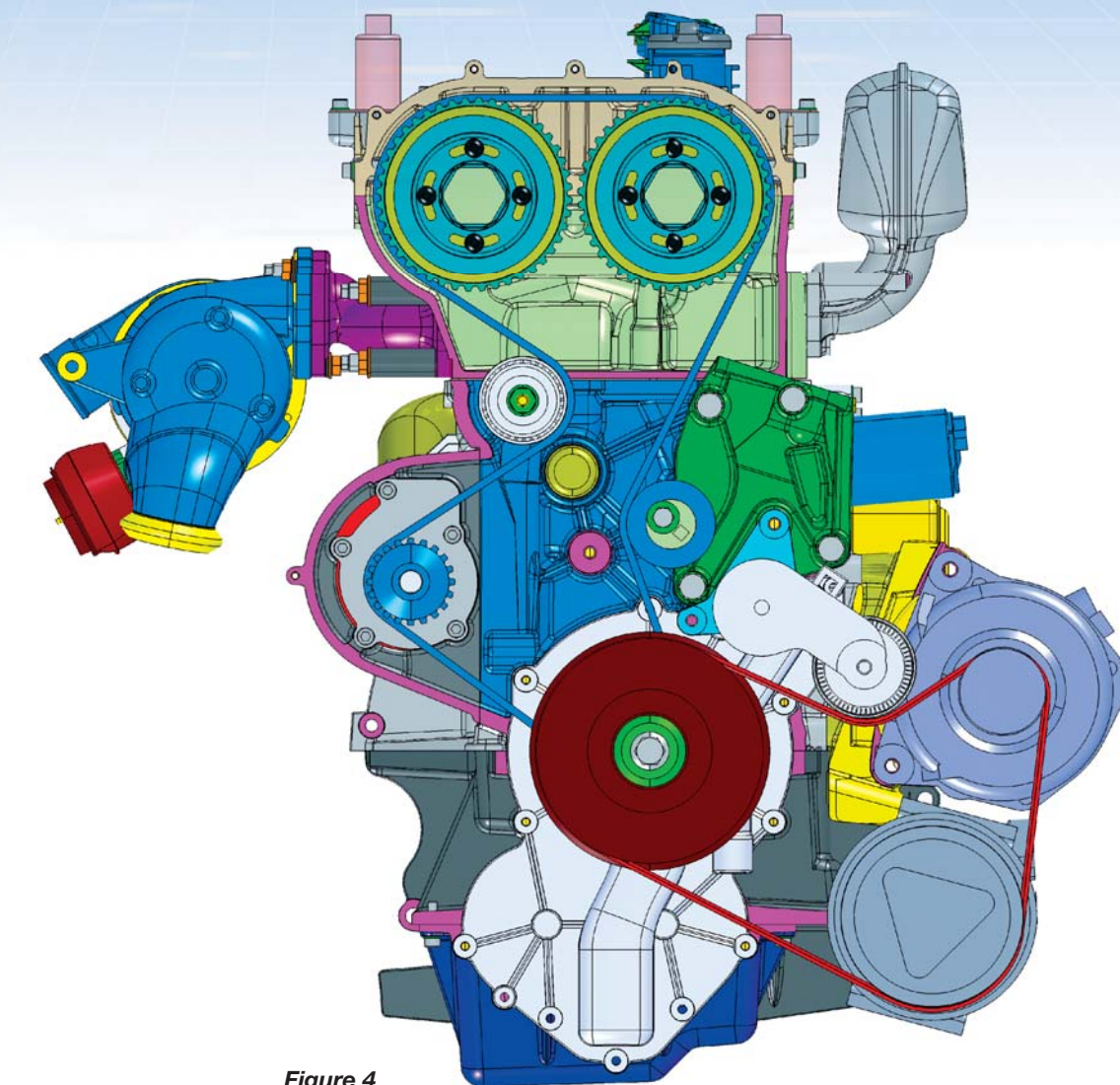
**Le taux de compression initial de chaque cylindre est réglé indépendamment**

Le réglage initial du taux de compression cylindre à cylindre peut s'opérer principalement de deux façons : soit en mesurant l'altitude des pistons au Point Mort Haut depuis les puits de bougie de la culasse, soit en mesurant directement le volume des chambres de combustion au Point Mort Haut après assemblage du moteur au moyen d'un procédé en cours d'étude. Ce dernier procédé prend en compte la géométrie réelle de la chambre de combustion.

En conséquence, la première version du MCE-5 permet déjà de réduire de façon importante les écarts de taux de compression d'un cylindre à l'autre, même comparativement à ce que l'on peut trouver sur les moteurs conventionnels les plus précis. Cette précision apporte des gains en consommation notables.

Le carter multicylindre MCE-5 est conçu pour conserver en tous points de fonctionnement un jeu faible (situé entre 10 et 20 microns) entre les dents de la roue de transmission et celles des crémaillères. Ceci permet de maintenir les émissions acoustiques du système d'engrenage à un niveau faible. L'objectif visé est un niveau acoustique total inférieur à celui d'un moteur classique, notamment grâce à la suppression du piston slap et à la rigidité favorable du vilebrequin et de l'ensemble de la structure du moteur.

Le jeu minimal entre les dents de la roue de transmission et celles des crémaillères est déterminé par des pistes de roulement que comportent ces pièces et qui fixent l'entraxe (figure 5). Un jeu de l'ordre de 10 à 20 microns est rendu possible par l'alignement automatique des crémaillères par rapport à la roue de transmission, les crémaillères étant suspendues à des pistons qui se



**Figure 4**

**Prototypage VCR MCE-5 multicylindre - face distribution**

comportent l'un et l'autre comme une liaison rotule. Sur ce point, la technologie MCE-5 change radicalement les contraintes de conception des engrenages : leur environnement géométrique n'est plus tributaire d'arbres qui fléchissent sous la charge ou qui ne sont pas parfaitement alignés dans un carter de sorte que la distribution de la pression de contact entre les dentures reste toujours optimale en tous points de fonctionnement.

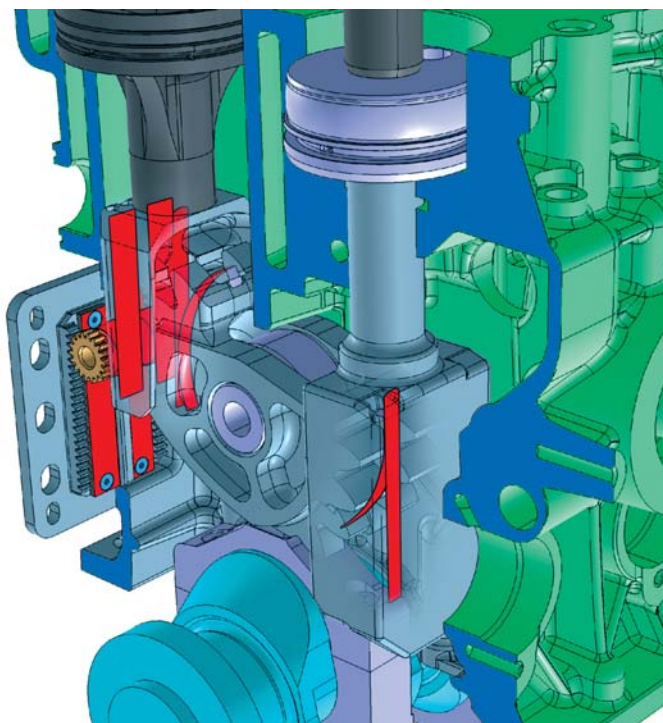
**Un environnement optimal pour le fonctionnement des dentures**

La possibilité de prévoir un jeu extrêmement faible aux dentures n'est donc pas la seule conséquence positive de ces conditions géométriques optimales : elles ont également permis de réduire les pressions de Hertz à un niveau beaucoup plus faible que celui trouvé sur le premier prototype expérimental MCE-5, malgré un comportement de ce dernier déjà conforme aux attentes. Ce sujet a été

abordé dans la publication SAE N° 2005-01-3131 présentée au SAE World Congress de Detroit en avril 2005. Un jeu opérationnel aussi faible nécessite toutefois une qualité de

denture élevée (classe de qualité 7 selon norme ISO 1328) qui requiert des procédés de finition de précision en production de grande série.

suite p. 4...



**Figure 5**

**L'entraxe roue-crémaillères et le jeu aux dentures sont fixés par des pistes de roulement**

L'utilisation de ces procédés a été prise en compte dans le calcul du prix de revient du moteur. Il faut souligner que le carter cylindre joue un rôle essentiel dans la maîtrise du jeu opérationnel des dentures. Comme

nous l'avons vu, l'entraxe minimal entre la roue de transmission et les crémaillères (qui fixe par conséquent le jeu minimal aux dentures) est déterminé par la localisation des pistes de roulement que comportent ces

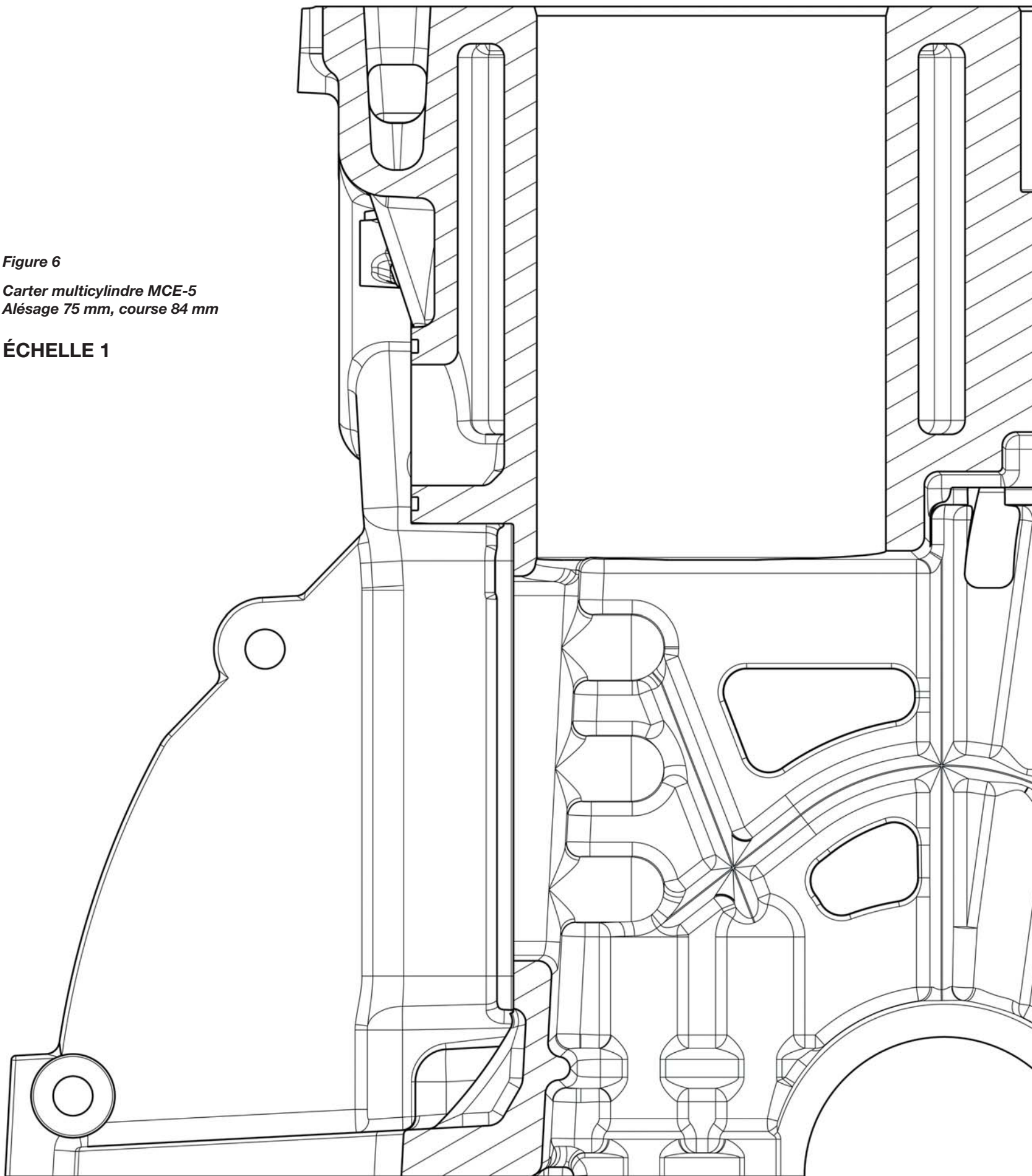
composants (figure 5). En revanche, le jeu maximal aux dentures est fixé par le carter cylindre qui détermine la distance maximale entre les composants mobiles. En effet, ces composants tendent à s'écarter les uns

des autres sous l'effet de l'angle de pression des dentures (20 degrés) qui génère un effort radial proportionnel à l'effort tangentiel appliqué par la crémaillère de piston à la roue de transmission.

**Figure 6**

**Carter multicylindre MCE-5**  
**Alésage 75 mm, course 84 mm**

**ÉCHELLE 1**





Pour préserver un jeu aux dentures de 10 à 20 microns quelles que soient les conditions opérationnelles du moteur, le carter cylindre doit donc maintenir les composants mobiles à une distance la plus faible

possible les uns des autres, c'est-à-dire, avec un jeu entre leurs pistes de roulement respectives le plus faible possible.

La solution qui consiste à réaliser le carter cylindre avec une haute

précision ne peut pas être retenue. En effet, la déformation sous charge des composants mobiles du MCE-5, les dilatations différentielles entre ces composants mobiles et le carter cylindre, ou les inhomogénéités de dilatation du carter cylindre rendent l'environnement géométrique de fonctionnement des engrenages variable dans des proportions incompatibles avec le maintien d'un jeu aux dentures compris entre 10 et 20 microns.

La solution retenue consiste à maintenir en pression, c'est-à-dire à jeu nul, les composants entre eux. Pour que cette stratégie préserve les avantages offerts par le piston guidé MCE-5 (effort radial moyen de plusieurs dizaines de fois inférieur à celui d'un moteur classique), des vérins presseurs dont la course opérationnelle est de quelques dixièmes de millimètre sont placés derrière chaque crémaillère de commande. Ces presseurs exercent un effort toujours légèrement supérieur à l'effort maximal relevé sur un cycle de 720°, avec une loi particulière de conservation ou de changement de la valeur d'effort. Le fond des vérins presseurs fait office de butée réglable qui permet de déterminer le jeu maximal aux dentures en absence de pression hydraulique (éventuelle panne d'alimentation des presseurs).

On note que les vérins presseurs exercent un effort sur les crémaillères de commande au-dessous de leur secteur utile d'engrènement de sorte que le piston de vérin de commande appuie toujours sur le même côté de son alésage. Ceci permet de réduire la précision de réalisation à la fois du piston et du cylindre des vérins et d'annuler les émissions acoustiques du piston de vérin induites par le basculement de la crémaillère de commande. Une bague de rotulage a été placée sur les pistons de vérin afin que leur profil sphérique n'exerce plus sur leur alésage une pression élevée (figure 7). L'alésage des vérins peut donc être directement usiné dans le carter cylindre sans que la

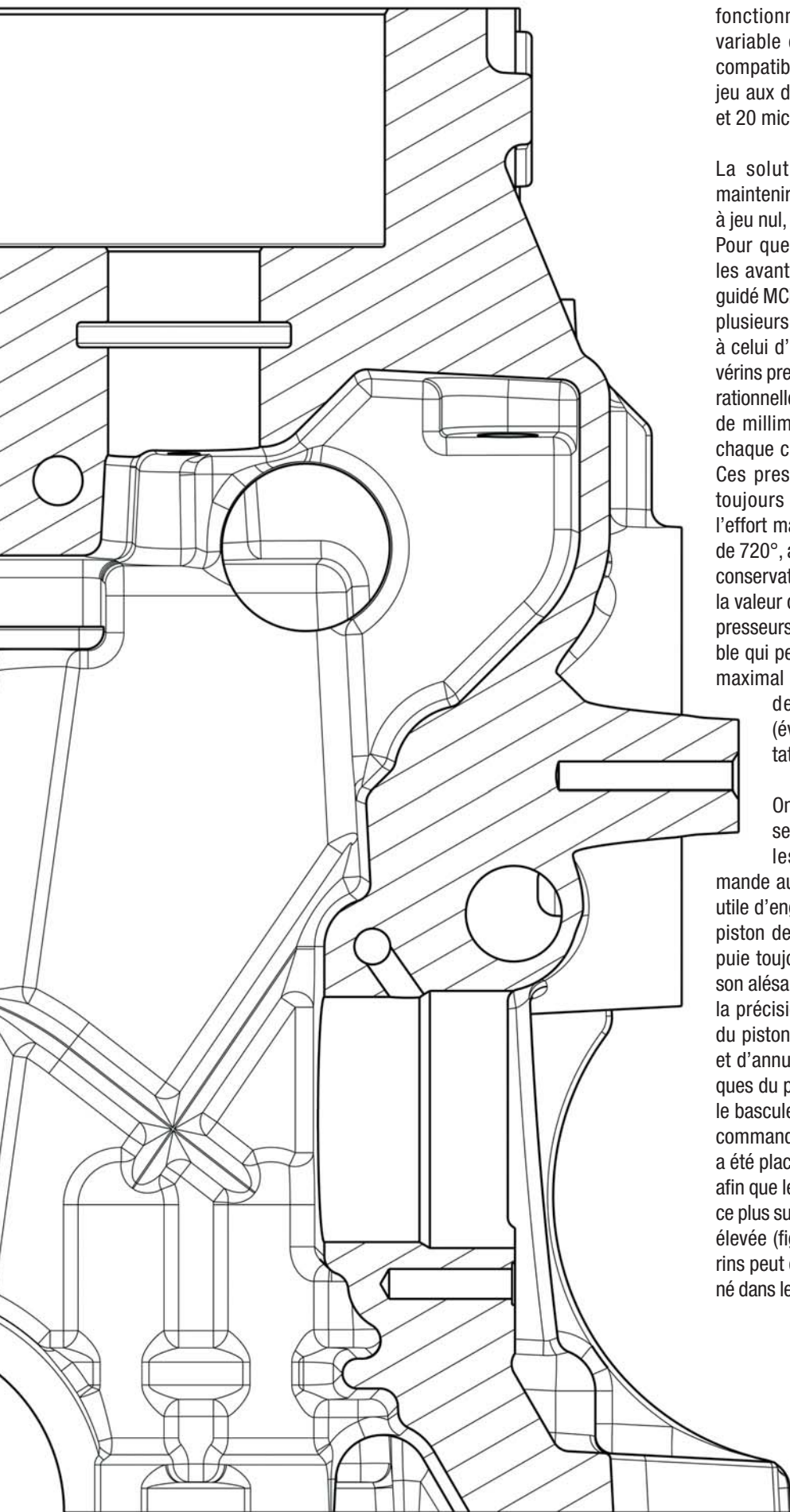
dureté relativement faible du matériau du carter ne pose de problème de contact.

### Fabrication en série simplifiée, émissions acoustiques minimales

La solution des vérins presseurs simplifie également la fabrication du carter cylindre dont les tolérances dimensionnelles sont désormais identiques à celles des carters classiques. Les vérins presseurs permettent de conserver un jeu nul aux pistes de roulement quelle que soit l'évolution de la géométrie du carter cylindre en fonction de la charge et/ou de la température. En conséquence, les émissions acoustiques des dentures restent minimales en tous points de fonctionnement et les composants mobiles sont "flottants" dans le carter cylindre.

Les vérins presseurs sont maintenus sous pression par un système hydraulique intégré au moteur qui sert également à maintenir une pression de précontrainte dans les vérins de commande. Cette pression de précontrainte est nécessaire pour augmenter la précision des vérins de commande, pour les protéger contre tout risque de cavitation et pour compenser leurs éventuelles fuites hydrauliques par un apport d'huile sous pression. Ce système intégré comporte notamment une pompe à un seul piston radiale placée en bout d'arbre à cames qui génère automatiquement la pression et le débit recherchés pour l'ensemble des fonctions (vérins presseurs et vérins de commande). Ce système intègre des composants simples, robustes et à longue durée de vie et sa consommation énergétique est de l'ordre de quelques dizaines de Watt. Un futur numéro de MCE-5 Tech News sera consacré à sa description.

Le carter multicylindre MCE-5 utilise également la pression de précontrainte des vérins de commande pour réduire le temps nécessaire au moteur pour passer de taux 7:1 à taux 18:1. Ce temps, de l'ordre de 200 ms sur le premier prototype, sera ramené entre 50 et 80 ms. En conséquence, le moteur multicylindre sera aussi rapide pour augmenter son taux de compression (passage de 7:1 à 18:1) que pour le diminuer (passage de 18:1 à 7:1).



suite p. 6...

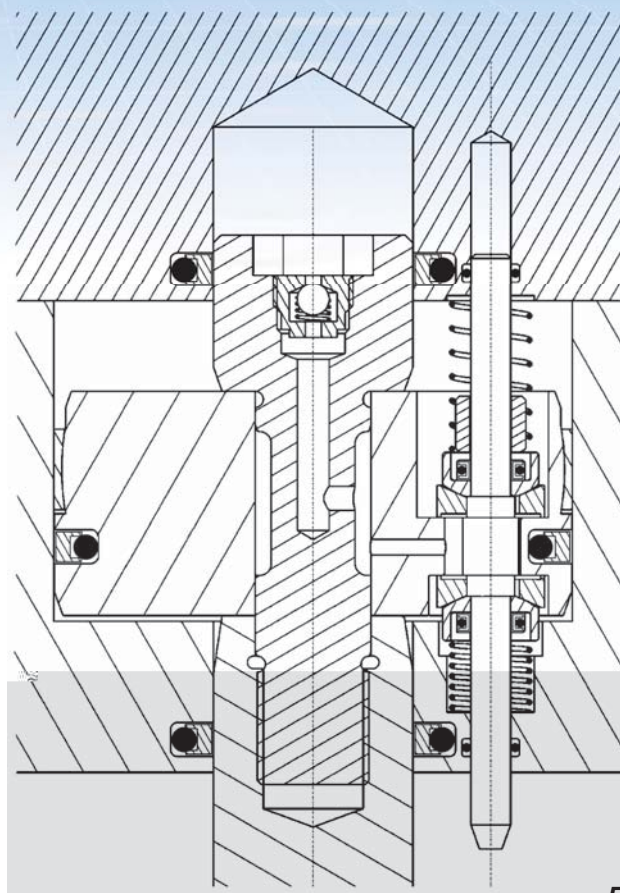
**Passage de 7:1  
à 18:1 ou  
inversement en  
moins de 100 ms**

Pour cela, des chambres sont réalisées dans la fonderie de la culasse au-dessus des tiges supérieures de vérin de commande, sans joint d'étanchéité additionnel (figure 7). Ces chambres sont soumises à la pression de précontrainte des vérins de commande (environ 20 bar). Le clapet anti-retour de compensation de fuite est désormais placé au centre de la tige supérieure de vérin et est directement alimenté par l'huile présente dans la chambre. Cette configuration permet aussi de supprimer l'un des deux joints du vérin de commande.

L'ensemble du système hydraulique MCE-5 (vérins de commande, vérins presseurs) fonctionne avec l'huile de lubrification du moteur. Pour cette raison, un soin particulier est apporté à la qualité de filtration de l'ensem-

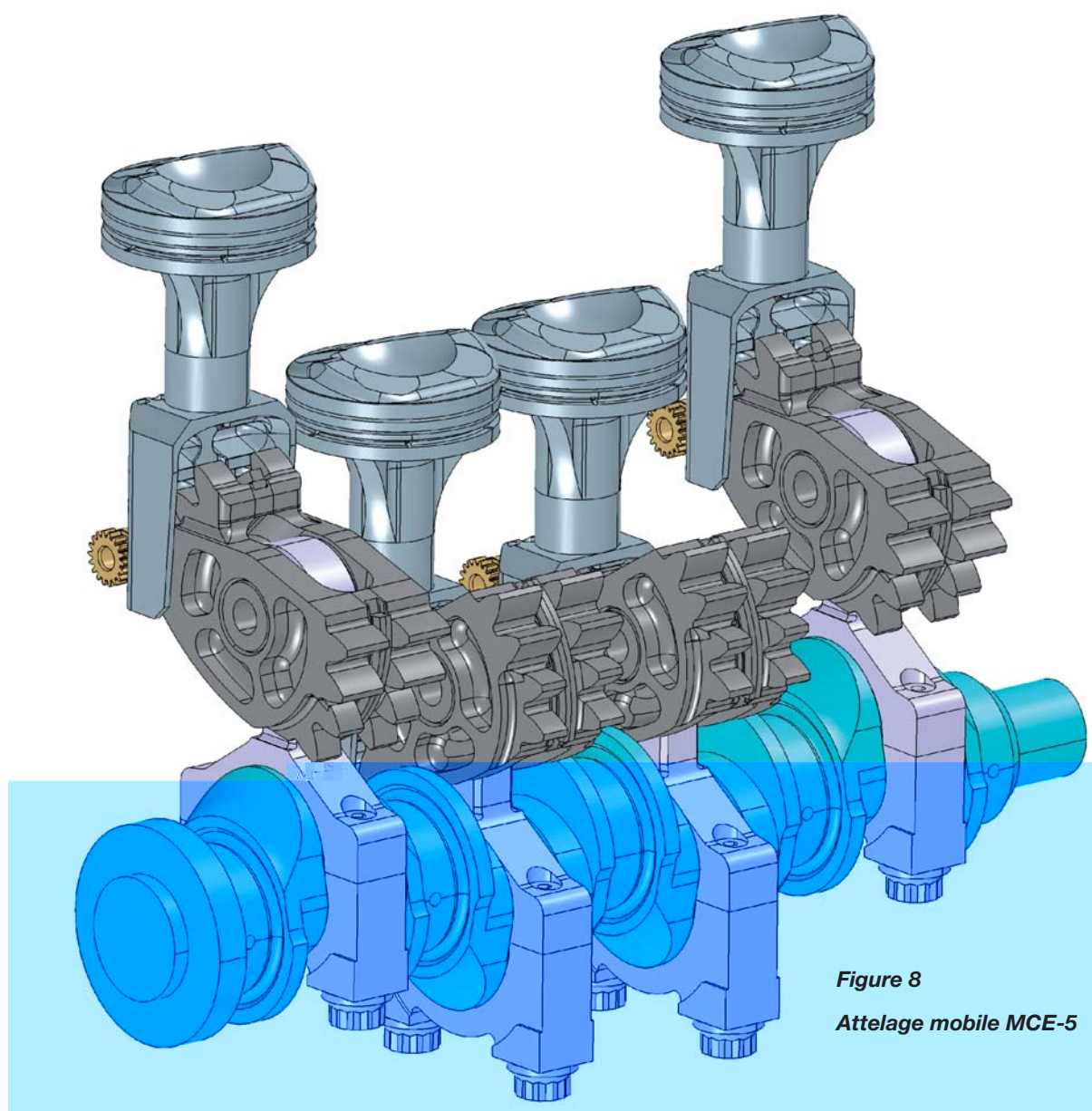
ble du circuit de graissage du moteur avec des conséquences positives sur la durée de vie d'autres composants (paliers hydrodynamiques).

La rigidité du carter cylindre MCE-5 est supérieure à celle d'un carter classique du fait de sa largeur plus importante dans sa partie supérieure et de sa hauteur entre ligne d'arbre et face compression qui s'apparente à celle d'un moteur Diesel (figure 6). La culasse, également légèrement plus large, participe à cette rigidité avec le carter palier. Le vilebrequin MCE-5 ne comporte plus de masses d'équilibrage mais sa déformation reste dans les critères usuels du fait de sa rigidité élevée due notamment à un recouvrement important entre manetons et tourillons. La compacité du vilebrequin confère à la partie inférieure du carter une faible largeur (rayon de manivelle diminué de moitié, mandoline réduite, pas de masses d'équilibrage). Le poids du vilebrequin est réduit passant de 11 kg pour le vilebrequin d'un moteur conventionnel moderne de cylindrée identique, à 8,4 kg.



**Figure 7**

***Vue des chambres aménagées  
au-dessus des tiges supérieures de vérin***



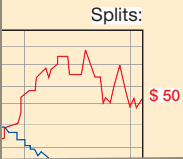
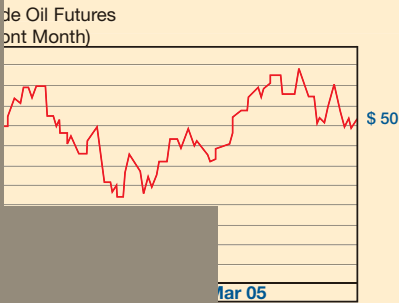
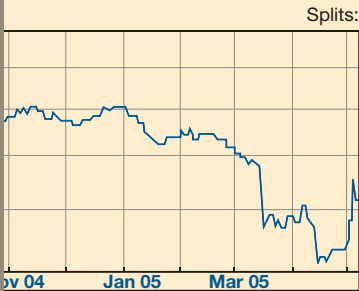
**Figure 8**

***Attelage mobile MCE-5***





**Les prototypes connus de moteurs à taux de compression variable (VCR) présentent une consommation de carburant de 10 % inférieure à celle des moteurs classiques à Injection Alimentés, ces derniers indiquant déjà une consommation la consommation comparativement des moteurs classiques (L atmosphérique). L'absence de l'écart constaté de déployer d'importants efforts pour développer des moteurs VCR à court terme ?**



Mar 05

Énergie



Pour répondre à cette question, il faut se projeter dans le futur contexte du marché automobile et particulièrement celui à échéance de 8 ou 10 ans (2012-2015) lorsque seront produits et commercialisés les premiers véhicules VCR. Répondre à cette question implique aussi de se projeter dans le futur des moteurs VCR eux-mêmes en prenant en compte leur potentiel de développement.

L'énergie et plus particulièrement le prix du pétrole va probablement être le facteur le plus déterminant pour l'industrie automobile : les voitures particulières dépendent à plus de 98% du pétrole.

Le prix élevé du pétrole que nous avons connu en 2005 résulte principalement d'une tension chronique entre offre et demande mondiale due notamment à la consommation de pays à forte croissance tels que la Chine et l'Inde. Si en 2002, la marge entre offre et demande était de l'ordre de 6 Mbj, elle n'était plus que de 1,5 à 2 Mbj en 2005. Avec une croissance annuelle de la demande mondiale de pétrole comprise entre 2,5 et 3%, la consommation serait théoriquement de 130 Mbj en 2015, or, des doutes sérieux existent désormais sur la capacité des pays producteurs à répondre à une telle demande.

Les États-Unis ont connu leur pic de production dans les années 70, la mer du Nord dans les années 90, preuve s'il en fallait du caractère limité de la ressource naturelle qu'est le pétrole. Les champs super géants exploités depuis des décennies tels que Ghawar en Arabie Saoudite ou Burgan au Koweït (respectivement 6 % et 2 % de la production mondiale) affichent d'ores et déjà leur limite de productivité.

Il est difficile de prévoir si la déplétion progressive du pétrole facile à exploiter pourra être compensée pour répondre à la croissance de la demande mondiale, et si oui, jusqu'à quand. On sait toutefois qu'il faudra relancer l'investissement et tenter de découvrir de nouveaux gisements, ouvrir des puits anciens, multiplier

les puits de moindre productivité et intensifier l'exploitation des pétroles non conventionnels.

Quel que soit le scénario, l'efficacité énergétique moyenne de la filière pétrolière est destinée à baisser et son impact environnemental à s'aggraver : il faudra dépenser plus d'énergie pour extraire un baril de pétrole que ce soit à cause de son inaccessibilité, de la nécessité de le séparer de son substrat naturel (sables asphaltiques, schistes bitumineux), ou pour le produire par conversion d'une autre source d'énergie fossile (Coal To Liquid, Gas To Liquid). Les substituts au pétrole (biocarburants) ne pourront pas être produits en quantité suffisante pour remplacer le pétrole. L'hydrogène, qui n'est pas une source d'énergie, ne pourrait trouver son intérêt qu'à très long terme pour convertir de l'énergie nucléaire en carburant pour des véhicules à pile à combustible.

En 2015, lorsque seront commercialisés les premiers véhicules VCR, chaque litre d'essence consommé produira donc plus de CO<sub>2</sub> qu'en 2005 par effet cumulatif induit par sa filière de production, ce qui rendra d'autant plus impératives les réglementations sur la consommation de carburant (en prenant en compte les émissions de CO<sub>2</sub> du puits à la roue).

Pour maintenir leur industrie, les constructeurs automobiles vont donc devoir s'adapter à la fois à un pétrole cher et à un contexte réglementaire contraignant sur les émissions de CO<sub>2</sub> (taxation des véhicules à forte consommation) auxquels viendront s'ajouter des réglementations toujours plus restrictives sur les émissions de polluants.

Répondre à cette évolution du contexte économique et réglementaire nécessite de développer dès à présent des technologies à haute efficacité énergétique. Cependant, le coût de production de ces technologies devra garantir aux constructeurs une marge bénéficiaire la plus élevée

possible sur chaque véhicule vendu tenant compte de leur position concurrentielle et de la capacité d'achat de leurs clients. Ceci implique de rechercher un rapport coût/efficacité énergétique le plus faible possible qui conduise à un prix de vente par véhicule modéré avec des avantages-clients évidents et visibles : ces conditions sont nécessaires pour pénétrer largement le marché et maintenir des marges bénéficiaires élevées.

En effet, si le rapport coût/efficacité énergétique des futures technologies est trop élevé, les véhicules demeureront trop chers en dépit d'une marge bénéficiaire faible voire nulle et les volumes de vente resteront limités. Comme c'est le produit de la marge unitaire par le volume des ventes qui conditionne la rentabilité finale de l'entreprise, les technologies les plus efficaces du point de vue énergétique ne sont pas forcément les plus rentables du point de vue économique.

curé par l'hybridation d'un véhicule de 120 kW (hybridation d'un 2L essence, environ 30 % de réduction de consommation) coûte environ 5,5 fois plus cher que celui obtenu en remplaçant le moteur d'origine du véhicule par un 4 cylindres IDE suralimenté de plus petite cylindrée (entre 12 et 14 % de réduction de consommation à isopuissance et isocouple). Selon cet exemple, les premières générations de moteurs VCR vont plus loin en proposant chaque pour cent de baisse de consommation pour un prix environ 8 fois inférieur à celui de l'hybride (env. 20 % de réduction de consommation).

Le coût de l'hybridation d'un véhicule de 150 kW (entre 4 000 et 5 000 € pour un V6 essence pour environ 35 % de réduction de consommation) est quant à lui hors de proportion : le remplacement du V6 d'origine du véhicule par un 4 cylindres VCR de même puissance et de même couple permet, au contraire, de réduire le coût du véhicule d'environ 200 € (pour environ 30 % de réduction de consommation).

Les constructeurs qui se sont engagés dans l'hybride misent assu-



**Hybrides : quelle taille de marché ? Quelle rentabilité ?**

rément sur un pétrole cher voire très cher dans un avenir proche qui leur permettra de restaurer leurs marges bénéficiaires, ce en quoi les tendances actuelles leur donnent raison. Pourtant, les véhicules hybrides ne sont rien d'autre que des véhicules à essence équipés d'un dispositif complexe qui permet de gérer la médiocrité de rendement de leur moteur thermique à basses

À titre d'exemple, chaque pour cent de baisse de consommation pro-





*Les véhicules qui se vendront le plus demain seront ceux qui présentent les meilleurs rapports coût/efficacité-énergétique et coût/avantages-perçus*

charges. Si le rendement à basses charges du moteur thermique est massivement amélioré, au plan strictement énergétique, l'hybridation perd son intérêt en grande partie.

Les efforts de développement doivent donc se focaliser sur l'amélioration du rendement à basses charges des moteurs thermiques en recherchant le meilleur rapport coût/efficacité énergétique. Tenant compte de l'état actuel de la technique, en l'absence du VCR, cette problématique demeure complexe.

**Objectif prioritaire : améliorer le rendement à charges partielles des moteurs à essence**

Du point de vue du rendement énergétique, le Diesel reste le plus efficace des moteurs thermiques : son taux de compression est élevé, ses pertes par pompages sont faibles car sa charge est réglée sans papillon des gaz et son couple spécifique élevé lui permet d'opérer à régimes de rotation faibles.

Cependant, le coût de production élevé des moteurs Diesel et de leur

dispositif de dépollution va devenir leur principal inconvénient. En effet, les moteurs Diesel déjà chers à produire du fait de leur complexité (env. 1 000 € plus chers que leur équivalent essence), vont devenir progressivement encore plus chers en raison de la filtration des particules qui fait appel à des équipements spécifiques (coût : de 500 à 700 €), et du post-traitement des oxydes d'azote en milieu oxydant (coût : également de 500 à 700 €, mais avec diverses incertitudes sur l'efficacité, la pérennité ou les contraintes de maintenance des dispositifs de réduction des NOx).

Au coût de ces systèmes de dépollution s'ajoutera une réduction de l'efficacité énergétique des moteurs Diesel comprise entre 4 et 8 %. Le ratio coût/efficacité énergétique des moteurs Diesel sera augmenté par ses deux facteurs.

Les ventes massives de Diesel, telles qu'elles se sont opérées en Europe conduisent également à un problème d'emploi de l'essence qui ne peut pas être résolu par la conversion de l'essence en gazole : non seulement peu de raffineries sont adaptées à une telle conversion, mais celle-ci n'est pas rentable au plan énergétique.

Tout le challenge pour les moteurs à essence est donc de ressembler au Diesel du point de vue de ses avantages mais sans lui ressembler du point de vue de ses inconvénients. Historiquement, l'Injection Directe d'Essence (IDE) était destinée à cette tâche : ressembler au Diesel. En effet, l'IDE permet d'augmenter le taux de compression du moteur d'environ un point, mais surtout, elle permet d'appauvrir la charge grâce à la stratification pour recourir moins intensivement au papillon des gaz.

**Malgré son efficacité énergétique élevée, le Diesel sera beaucoup moins rentable demain qu'aujourd'hui**

Malheureusement, si la charge des moteurs Diesel est réglée uniquement par la quantité de gazole injectée sans recourir à un papillon à l'admission (sans pompage additionnel), ce n'est pas le cas des moteurs à Injection Directe d'Essence qui ne peuvent fonctionner en mode stratifié que sur une faible plage de régime-charge.

Les gains sur cycle utilisateur procurés par la charge stratifiée ne

sont donc pas suffisants du fait de sa trop faible représentativité sur cycle de conduite d'une part, et de la nécessité de piéger et de post-traiter les oxydes d'Azote par cycles de régénération d'autre part. De plus, la charge stratifiée induit la production de particules dont la réglementation est déjà prévue par la norme Euro V.

L'IDE stratifiée ressemble davantage au Diesel du point de vue de la difficulté à en réduire les NOx et de la production de particules, que du point de vue des performances et du rendement énergétique.

La légère augmentation de taux de compression permise par l'IDE reste cependant un acquis qui trouve un intérêt particulier dans le cadre des moteurs fortement suralimentés avec au moins deux autres conséquences positives, celles d'offrir un rapport air/carburant plus précis cycle à cycle d'une part, et de réduire la nécessité de surenrichir le mélange air/carburant à pleine charge d'autre part. Les avantages de l'IDE au regard de son prix de revient restent cependant assez peu significatifs.

Une publicité importante est faite aujourd'hui sur les moteurs IDE suralimentés, toutefois, on oublie en général de mentionner que la majeure



partie des gains en consommation de ce type de moteurs est due à la suralimentation par effet "downsizing" et non à l'augmentation du taux de compression permise par l'IDE qui reste trop marginale (l'IDE permet de hausser le taux de compression des moteurs fortement suralimentés de 9:1 à 10:1 et celui des moteurs atmosphériques de 10:1 à 11,5:1). On parle aussi d'une adaptation plus efficace de la suralimentation

146	
90	
500	2
L4	
6,2	
: 0	

	1
	pages
	+ 300
	+ 400
	+ 700
	- 200
7%	30%
1,11	-6,67
500	1 500

	+ 300
--	-------

- 600	- 400
6 802	7 654