

LE MOTEUR À COMBUSTION INTERNE EST ESSENTIEL POUR LA MOBILITÉ 2030-2050

Les politiques de réduction de consommation, d'émissions de polluants et de CO₂ entraînent un effort sans précédent d'optimisation des systèmes de propulsion automobile. L'exigence « zéro émission » en zone urbaine impose leur électrification au moins partielle. Les énergies renouvelables doivent à terme représenter plus de 50% du mix énergétique. Pour y parvenir, toutes les technologies de propulsion devront être exploitées : les moteurs à combustion interne, qui resteront prédominants à l'horizon 2030-2050, et l'électrification des systèmes de propulsion, incluant l'hybridation des moteurs thermiques et la propulsion électrique (batterie, pile à combustible). Quel que soit le scénario, l'amélioration drastique du rendement des moteurs thermiques est indispensable.



Frédéric Dubois

Après une double formation d'ingénieur, Frédéric Dubois a travaillé plus de 25 ans en France, au Royaume uni et en Allemagne en recherche, développement et industrialisation chez plusieurs équipementiers internationaux de l'aéronautique, de la défense et de l'automobile, dans lesquels il a occupé des fonctions de direction Groupe dans les domaines du développement d'affaires, de produits et de technologies. Il rejoint MCE-5 DEVELOPMENT en 2008 et occupe successivement les fonctions de Directeur R&D, puis de Directeur du Développement et des Programmes Clients (2011) avant de prendre sa responsabilité actuelle de Directeur des Affaires Externes (2016).

Le VCR, une des clefs du rendement des moteurs thermiques

Parmi les paramètres affectant le rendement d'un moteur, le taux de compression fixe (FCR – Fixed Compression Ratio) est le dernier qui continue de résulter d'un compromis non-optimal entre combustions anormales et performances énergétiques. Le taux de compression variable (VCR – Variable Compression Ratio) devient une stratégie indispensable pour exploiter les cycles thermodynamiques à hauts rendements tels que le cycle Miller.

Le rendement du VCRi Miller est supérieur à 35% sur 75% de sa plage d'utilisation

Pour bénéficier au maximum du cycle Miller, le taux de détente (ER) effectif, son rapport au taux de compression (CR) et le CR lui-même doivent être simultanément maximisés. Coupler un système VCR continu à une distribution variable procure un avantage décisif par rapport à un moteur FCR exploitant la même stratégie Miller : ER peut être aussi élevé que le CR géométrique maximum du système, tandis que le CR effectif reste élevé, malgré la mise en œuvre des stratégies de distribution propres au Miller conduisant à un CR effectif inférieur au CR géométrique. La recherche d'un optimum technico-économique pour la technologie VCRi Miller de MCE-5 a conduit à retenir un taux variant de 8:1 à 18:1, procurant un rendement maximum de 40% et supérieur à 35% sur 75% de la plage d'utilisation [Fig.1]. Cette augmentation spectaculaire du « sweet-spot » permet de réduire le nombre de rapports de transmission, entraîne une réduction de consommation et d'émissions, un couple à bas régime et des performances dynamiques exceptionnelles et une amélioration de l'agrément (NVH). La gestion du CR d'un moteur VCRi permet de maintenir une combustion stœchiométrique sans augmentation de température d'échappement ni cliquetis jusqu'à 120 kW/l et de réduire le délai de réponse de la suralimentation à bas régime sans recourir au balayage de charge, faisant du VCRi une base robuste pour respecter les règlements RDE (Real Driving Emissions).

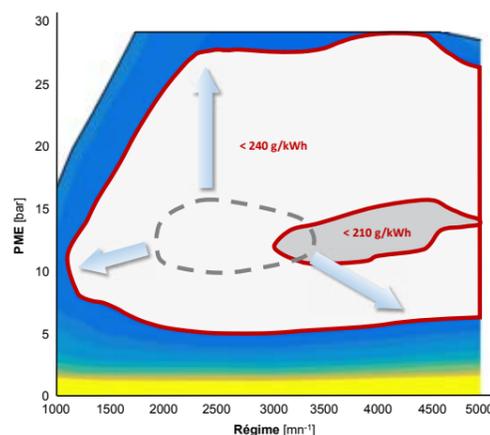


Fig1 : Consommation spécifique VCRi

Une famille de moteurs VCRi Miller compacte et universelle

Les moteurs VCRi ont une densité de puissance optimale de 80 à 120 kW/l, tandis que les moteurs FCR opèrent entre 65 et 80 kW/l. Cette densité de puissance, couplée à un régime et une sensibilité de la consommation spécifique à la charge plus faibles grâce au large « sweet spot », permet au VCRi de réduire le nombre de variantes requises dans une gamme de moteurs. Un moteur VCRi fonctionne avec une grande variété de qualité de carburants sans compromettre ses performances énergétiques et dynamiques. Un même moteur peut donc être exploité dans plusieurs parties du monde. Ces deux caractéristiques induisent des économies significatives de coûts de développement et de production.

En route vers 50% de rendement

MCE-5 prévoit d'optimiser la combustion et la suralimentation pour accroître le rendement maximum des moteurs VCRi à 44%. A plus long terme, atteindre un rendement maximum proche de 50% serait possible grâce notamment à l'exploitation de l'allumage par compression et de la combustion en mélange ultra-pauvre sur la majeure partie de la plage de fonctionnement, stratégies faci-



Fig3 : Roue VCRi



Fig4 : Forgeage cémaillère par Setforge



Fig5 : Finition denture par Pentech

- 1 Piston guidé
- 2 Vérin de commande
- 3 Actionneur de taux
- 4 Crémaillère de combustion
- 5 Crémaillère de commande
- 6 Rouleau synchronisé
- 7 Roue d'engrenage
- 8 Vérin presseur
- 9 Bielle
- 10 Carter moteur
- 11 Capteur de position
- 12 Vilebrequin

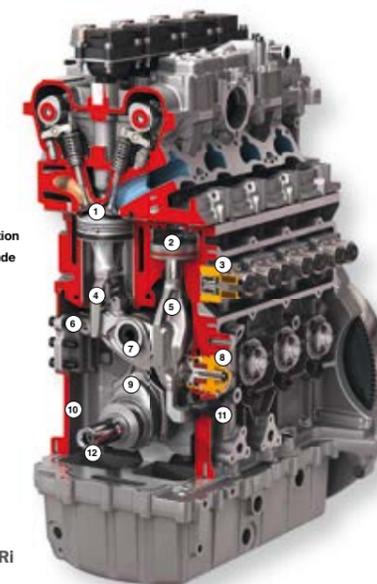


Fig2 : Technologie VCRi

lités par la technologie VCRi et par la technologie MCE-5 SSP d'allumage à très haute énergie en cours de développement.

La technologie VCRi

Le système VCRi [Fig.2] ajuste le CR en modifiant la position du vérin (2) et de la crémaillère (5) de commande, faisant ainsi pivoter la roue (7) [Fig.3] autour de l'axe la rattachant à la bielle (9) et provoquant la modification de la position de la course de la crémaillère de combustion (4) et du piston (1). Ce mouvement est généré par la pression des gaz de combustion sur le piston ou par les efforts d'inertie. La variation de CR est active lorsque l'actionneur de taux (3) met en communication les deux chambres hydrauliques du vérin de commande jusqu'à l'atteinte du taux optimal déterminé par le calculateur du moteur en fonction des besoins véhicule et de la valeur réelle mesurée par le capteur de taux (11). Un dispositif de rattrapage de jeux (8) assure en toutes circonstances un fonctionne-

ment silencieux. Les mouvements relatifs du système sont assurés par roulement sans glissement et le piston est guidé dans le cylindre grâce au rouleau de synchronisation (6), supprimant tout effort latéral notable. Ces deux dernières caractéristiques induisent une réduction substantielle des frottements. Le VCRi fournit une variation de taux continue, rapide (2 à 3 points de CR en 1 cycle), précise (0,1 point à 15:1), étendue (10 points), avec un CR maximum élevé (18:1), indépendamment pour chaque cylindre. La maturité actuelle du VCRi s'établit à TRL7 (Technology Readiness Level) x MRL5 (Manufacturing Readiness Level) [Fig.4 & 5]. Cet ensemble unique de caractéristiques font du VCRi un outil idéal pour mettre en œuvre dès à présent les modes de combustion avancés nécessaires à l'atteinte des objectifs réglementaires.

VCRi, une solution robuste dans un monde incertain

Une augmentation drastique du rendement des moteurs thermiques est indispensable pour respecter les futures normes automobiles. Le VCRi est un outil essentiel pour y parvenir. Les moteurs VCRi combinent efficacité énergétique, performances dynamiques et plaisir de conduire et offrent un avantage de 10 à 15% de réduction de consommation par rapport aux moteurs FCR de même génération. Exploitant tous types de carburant sans compromis entre rendement et performance, ils permettent une présence mondiale sans augmenter les investissements industriels. Ceci, couplé à la réduction du nombre de variantes dans une famille moteur, permet de réduire les coûts de développement et de production. L'exploitation du VCRi au sein de systèmes hybrides permet de réduire leur complexité. La technologie VCRi peut être exploitée par tout constructeur, ouvrant la voie à un déploiement à grande échelle à partir de la prochaine décennie. Ainsi, le constructeur chinois DONGFENG a conclu en 2015 un accord stratégique avec MCE-5 DEVELOPMENT et a initié le développement d'une plateforme de moteurs VCRi. Des discussions avancées sont en cours avec d'autres constructeurs en Europe, aux Etats-Unis et en Asie.

MCE-5 DEVELOPMENT

MCE-5 DEVELOPMENT est une société indépendante qui a pour objectif d'améliorer l'efficacité énergétique et l'empreinte environnementale des systèmes de propulsion automobile en accélérant l'introduction des innovations nécessaires par la transformation d'inventions issues de la recherche en innovations exploitables par l'industrie. À cette fin, la Société identifie des concepts innovants, développe les innovations sélectionnées jusqu'aux niveaux intermédiaires des échelles TRL et MRL, constitue des portefeuilles de brevets et de savoir-faire et commercialise les innovations sous forme d'accords de coopération, concession de droits de propriété intellectuelle, de transfert de savoir-faire et de services. Créée en 2000, l'entreprise a acquis une compétence reconnue mondialement dans le domaine du taux de compression variable.