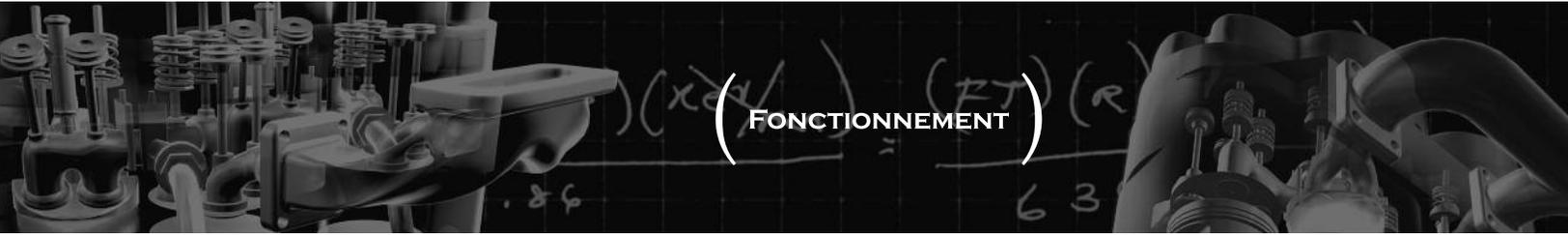




SCUDERI ENGINE

Technologie révolutionnaire  
Conception évolutionnaire



*Le moteur à combustion interne entre dans une nouvelle ère*

**( MOTORISÉ PAR SCUDERI )**

## Qu'est-ce qu'un moteur à cycle divisé ?

Un moteur à cycle divisé répartit les quatre temps (admission, compression, combustion-détente et échappement) sur deux cylindres distincts mais appariés. Le premier cylindre est utilisé pour l'admission et la compression. L'air comprimé est ensuite transmis par un conduit de transfert du cylindre de compression au second cylindre, dans lequel s'effectuent la combustion et l'échappement. Un moteur à cycle divisé est en fait un compresseur d'air d'un côté et une chambre de combustion de l'autre.



### Précédents moteurs à cycle divisé

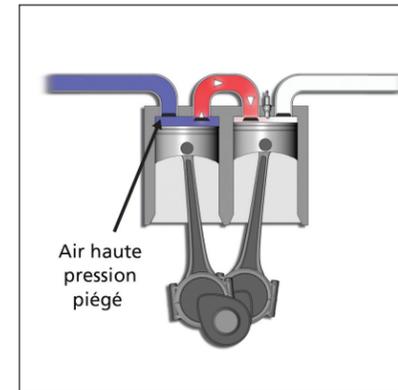
Les premiers moteurs à cycle divisé sont apparus dès 1914. Depuis, de nombreuses configurations de cycle divisé ont été étudiées mais aucune n'a jamais atteint le rendement ou les performances des moteurs traditionnels.

### Problèmes posés par les précédents moteurs à cycle divisé

Les précédents moteurs à cycle divisé présentaient deux inconvénients majeurs : **une mauvaise respiration (rendement volumétrique)** et **un faible rendement thermique**.

### Respiration du moteur (rendement volumétrique)

Le problème de respiration était dû aux gaz sous haute pression piégés dans le cylindre de compression. Ces gaz devaient se redilater avant qu'une nouvelle charge d'air puisse être aspirée dans le cylindre de compression, d'où une diminution de la capacité du moteur à pomper de l'air et donc un mauvais rendement volumétrique.



### Faible rendement thermique

Le rendement thermique des moteurs à cycle divisé a toujours été nettement moins bon que celui d'un moteur classique à cycle Otto. Principale raison : tous essaient d'allumer le mélange comme un moteur classique, c'est-à-dire avant le point mort haut (avant PMH).

Pour réaliser l'allumage avant PMH dans un moteur à cycle divisé, on permet à l'air comprimé coincé dans le conduit de transfert de se détendre dans le cylindre de détente pendant la course ascendante du piston. En dissipant la pression de l'air comprimé, le travail réalisé sur l'air dans le cylindre de compression est perdu. Le piston de détente recomprime alors l'air afin de permettre l'allumage avant PMH.

En autorisant le gaz comprimé dans le conduit de transfert à se détendre dans le cylindre de détente, le moteur doit réaliser deux fois le travail de compression. Dans un moteur classique, le travail de compression ne s'effectue qu'une seule fois, d'où un rendement thermique très supérieur.

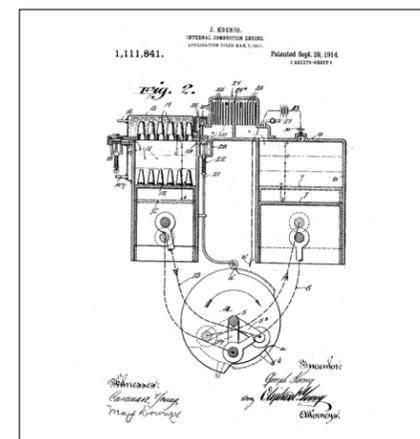


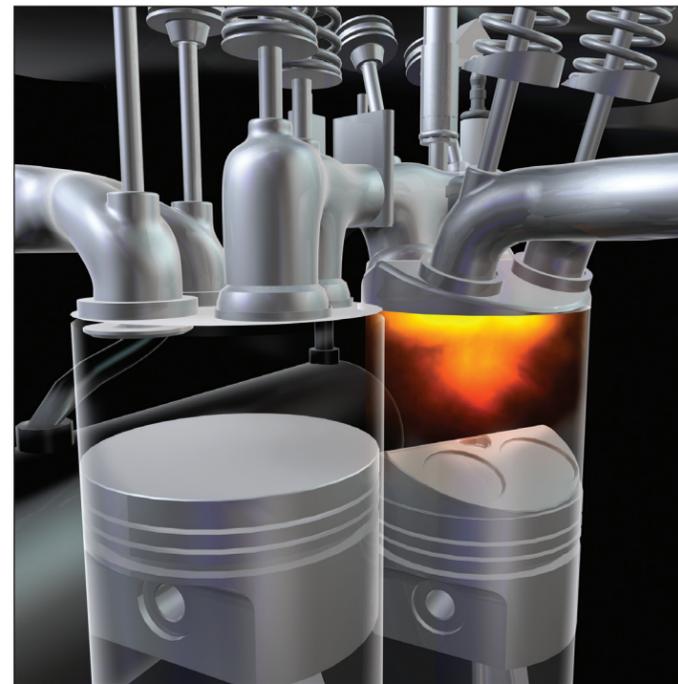
Illustration du brevet de cycle divisé de 1914

## En quoi le moteur à cycle divisé Scuderi est-il supérieur ?

Le moteur à cycle divisé Scuderi résout les deux problèmes, celui de la respiration et celui du rendement thermique, avec **deux concepts uniques et brevetés** :

### Conception spécifique des soupapes

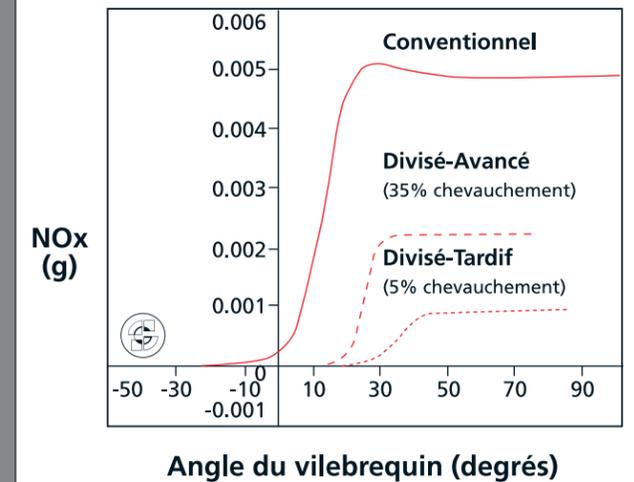
Du côté compression du moteur Scuderi, le problème de respiration est résolu en réduisant le jeu entre le piston et la culasse à moins de 1 mm. Cette conception nécessite d'utiliser des soupapes s'ouvrant vers l'extérieur qui permettent au piston de s'approcher très près de la culasse sans interférence des soupapes. Ainsi, la quasi-totalité de l'air comprimé est repoussée du cylindre de compression vers le conduit de transfert, ce qui élimine les problèmes de respiration caractéristiques des précédents moteurs à cycle divisé.



### Solution au problème de rendement thermique – Allumage après point mort haut (après PMH)

Bien que considéré comme un défaut dans un moteur classique, l'allumage après PMH élimine les pertes créées par la recompression des gaz dans un moteur à cycle divisé. La grande question n'était pas comment résoudre le problème de rendement thermique du moteur à cycle divisé, mais plutôt comment réaliser **l'allumage après PMH**. En fait, **l'allumage après PMH est probablement la principale innovation du moteur Scuderi**.

### PRÉVISIONS D'ÉMISSIONS DE NOx



### Haute pression et turbulence intense

Dans le moteur Scuderi, l'allumage après PMH est réalisé en utilisant une combinaison d'air haute pression dans le conduit de transfert et de turbulence intense dans le cylindre de détente.

Comme les cylindres sont indépendants l'un de l'autre dans un moteur à cycle divisé Scuderi, le taux de compression dans le cylindre de compression n'est pas limité par le processus de combustion. On obtient un taux de compression de l'ordre de 75:1, avec la même pression dans le cylindre de compression que dans un moteur classique pendant la combustion. La pression dans le cylindre de compression et le conduit de transfert dépasse 50 bar (725 psi) dans notre moteur atmosphérique et 130 bar (1885 psi) dans la version turbocompressée.

Cet air entrant sous haute pression dans le cylindre de détente crée une turbulence intense, qui est encore renforcée en maintenant les soupapes ouvertes aussi longtemps que possible pendant la combustion. Le résultat est une pulvérisation très rapide du mélange air/carburant, ce qui crée une vitesse de flamme rapide ou une vitesse de combustion plus rapide que tout ce qui a été réalisé précédemment. La combinaison de haute pression de démarrage et de vitesse rapide de flamme permet à la combustion de commencer 11 à 15 degrés après PMH et de se terminer 23 degrés après l'allumage. **Le résultat est un moteur à cycle divisé offrant un rendement et des performances supérieures à un moteur classique.**

## La révolution

### Un moteur à cycle divisé réalisant l'allumage après point mort haut (après PMH)

La caractéristique révolutionnaire du moteur Scuderi est la combinaison du cycle divisé et du processus de combustion avec allumage après PMH. Cette combinaison réalise un processus thermodynamique véritablement unique qui permet d'atteindre des niveaux inédits de rendement et de puissance. Sa conception est d'une élégante simplicité, permettant de réaliser des améliorations supplémentaires qui continueront d'améliorer les performances du moteur.

*Le prototype de moteur atmosphérique actuel fait la démonstration de la viabilité de la conception. Il prouve que le concept de division des cycles et d'allumage après PMH existe réellement, et ce n'est que le début de nombreuses améliorations de conception à venir.*

### Développements, résultats et caractéristiques du prototype de moteur atmosphérique

**Soupapes d'admission et d'échappement utilisées pour gérer la charge du moteur :** les soupapes d'admission et d'échappement sont des soupapes pneumatiques dont la levée et le calage sont entièrement variables. L'air nécessaire pour actionner les soupapes est fourni de manière interne par le côté compression du moteur. Ces soupapes sont utilisées à la place d'une soupape d'étranglement pour commander le moteur à charge partielle.

**Soupapes de transfert :** les soupapes d'entrée et de sortie du conduit de transfert sont commandées par came et conçues pour se lever vers l'extérieur. Des ressorts pneumatiques sont utilisés pour ramener les soupapes de liaison, l'air d'appoint des ressorts étant fourni en interne par le côté compression du moteur.

**Conduit de transfert :** le conduit de transfert est un point de commande majeur du moteur. Il sert à gérer la pré-détonation (cliquetis) en fournissant un point de refroidissement supplémentaire après la compression. Il s'agit d'une caractéristique propre au cycle divisé qui n'est tout simplement pas possible dans un moteur classique.

En outre, la configuration du conduit de transfert entrant dans le cylindre de détente a un effet significatif sur le mélange air/carburant et le conduit de transfert peut aussi jouer un rôle majeur dans la commande du moteur à charge partielle.

**Circuit d'alimentation :** le moteur atmosphérique Scuderi utilise des injecteurs Bosch avec une forme de jet spécifique. Ces injecteurs à injection directe haute pression génèrent des pressions pouvant atteindre 200 bar. Cette combinaison de forme de jet, pression et calage de l'injection contribue à garantir la qualité du mélange air/carburant et empêche que du carburant ne reste piégé dans le conduit de transfert.

**Conception spécifique de la tête du piston de détente :** ce moteur utilise une cavité en forme de haricot dans la tête du piston afin d'améliorer le mélange air/carburant. Cette caractéristique exclusive fait partie du portefeuille de brevets de Scuderi.

**Calage de la distribution et calage de l'allumage :** un des principaux facteurs de qualité du processus de combustion est la combinaison commande des soupapes et calage de l'allumage. Le moteur Scuderi utilise un mécanisme breveté de commande des soupapes qui assure un débit d'air à haute vitesse dans le cylindre de détente. Notre processus de combustion avec allumage après PMH est ensuite optimisé par la gestion appropriée du calage de la distribution.

**Dispositif de réglage du jeu aux soupapes :** la combinaison de soupapes s'ouvrant vers l'extérieur et de profils à faible levée et calage rapide nécessite un dispositif spécifique de réglage du jeu aux soupapes. Notre équipe a mis au point un mécanisme breveté de réglage du jeu spécifiquement conçu pour s'adapter aux diverses conditions de fonctionnement des soupapes de transfert.



## SCUDERI ENGINE

- 1 Culasse
- 2 Orifice d'admission
- 3 Cylindre / piston de compression
- 4 Pompe à huile
- 5 Carter moteur supérieur
- 6 Plaque de fondation
- 7 Carter d'huile
- 8 Volant d'inertie
- 9 Cylindre / piston d'expansion
- 10 Conduit de transfert
- 11 Orifice d'échappement
- 12 Pompe à carburant Bosch

( MOTORISÉ PAR SCUDERI )

## L'évolution

Si la révolution est l'allumage après PMH du moteur à cycle divisé Scuderi, l'évolution est à trouver dans les caractéristiques découlant de ce concept spécial de moteur.

### Moteur à cycle divisé turbocompressé

(Moteurs plus petits à haut niveau de couple, haut régime et grande puissance) :

L'étape suivante du développement du moteur à cycle divisé Scuderi est la version turbocompressée. Étant donné que le conduit de transfert permet de refroidir l'air d'admission après compression, le moteur à cycle divisé Scuderi présente une résistance très élevée à la pré-détonation (cliquetis). La haute résistance au cliquetis permettrait de suralimenter le moteur à cycle divisé Scuderi à une pression absolue supérieure à 2,5 bar. Un moteur à essence classique ne peut accepter qu'une pression absolue de suralimentation de 1,5 bar avant que la pré-détonation ne se produise.

Le résultat est une pression moyenne efficace et un niveau de couple nettement supérieurs. En fait, le niveau de couple du moteur à cycle divisé Scuderi atteint, voire dépasse celui de la plupart des moteurs diesel turbocompressés. À la différence qu'un moteur à cycle divisé Scuderi peut atteindre des régimes nominaux allant jusqu'à 6 000 tr/min. La combinaison des niveaux de couple d'un moteur diesel avec les niveaux de régime d'un moteur à essence pourrait générer une puissance volumique supérieure à tous les moteurs classiques existants. **Le moteur à cycle divisé Scuderi turbocompressé a une puissance nominale potentielle de 101 kW par litre à 6 000 tr/min.**

Le moteur Scuderi permet à l'industrie automobile de réduire fortement la taille de ses moteurs (réduisant la consommation de carburant et les émissions de CO<sub>2</sub>) sans compromettre les performances.

### Moteur diesel à cycle divisé Scuderi (émissions réduites)

Un des principaux avantages du moteur à cycle divisé Scuderi pour applications diesel est la réduction des émissions. Les normes antipollution plus strictes qui entreront en vigueur en 2010 entraîneront une hausse spectaculaire du coût des moteurs diesel accompagnée d'une baisse des performances.

Le processus de combustion à allumage avant PMH du moteur Scuderi a l'effet inhabituel de réduire à la fois les émissions de suie et de NO<sub>x</sub>. Ceci est dû au fait que le cylindre de combustion dans le moteur Scuderi possède à la fois une température moyenne supérieure et une température maximale inférieure à celle d'un moteur classique. La température moyenne élevée, conjointement avec le haut niveau de turbulences réalisé pendant le processus de combustion, doit réduire les émissions de particules de suie. De leur côté, les températures maximales inférieures obtenues par la dilatation rapide des gaz de combustion pendant l'allumage après PMH réduisent jusqu'à 80 % les émissions de NO<sub>x</sub>.

Le moteur à cycle divisé Scuderi offre la possibilité de respecter les nouvelles normes antipollution sans avoir recours aux systèmes coûteux de post-traitement.

### Promesse du moteur à cycle divisé Scuderi

Avec la révolution de l'allumage après PMH du moteur à cycle divisé Scuderi et son évolution vers les différentes configurations (atmosphérique, turbo-compressé, air-hybride et diesel), la technologie du moteur à cycle divisé Scuderi fournit une solution simple mais élégante aux demandes actuelles et futures d'amélioration du rendement, d'augmentation de la puissance, de réduction de la taille des moteurs et de réduction des émissions polluantes.

## Conception air-hybride

Comme le moteur Scuderi est en fait un compresseur dédié d'un côté et un moteur de l'autre, il suffit d'ajouter un réservoir d'air et quelques commandes pour le convertir en système hybride en mesure de récupérer et de stocker l'énergie perdue pendant le fonctionnement normal du moteur.

Comme la version turbocompressée du moteur Scuderi opère à une pression de 130 bar, elle peut emmagasiner une quantité significative d'énergie dans son réservoir d'air. Diverses stratégies de gestion du moteur peuvent être utilisées pour diminuer davantage encore la consommation de carburant. Citons la coupure du moteur au ralenti, la conduite en mode air seul, la mise hors charge du cylindre de compression et le freinage par récupération.

Le moteur air-hybride Scuderi fournit une solution hybride d'un bon rapport coût/efficacité sans compromettre les performances.

## Courbes pression/volume

Comment l'énergie emmagasinée sous forme d'air comprimé augmente-t-elle le rendement du système ?

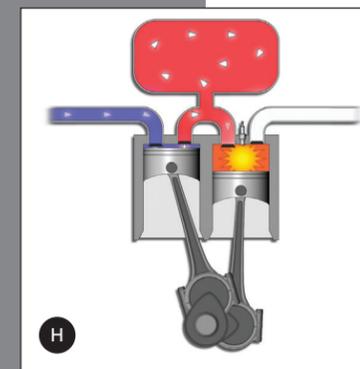
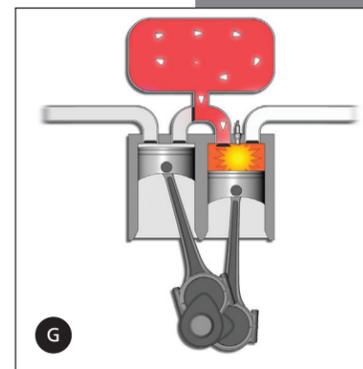
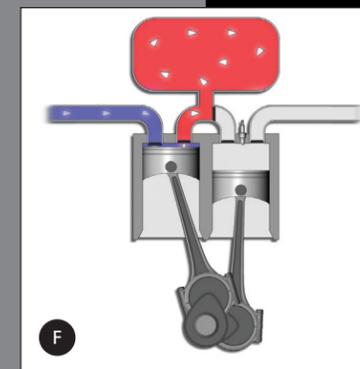
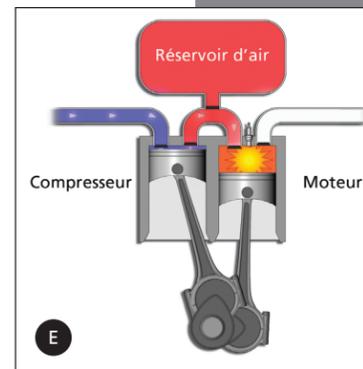
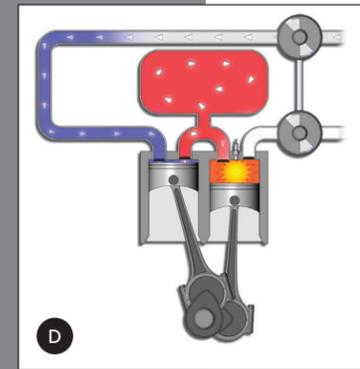
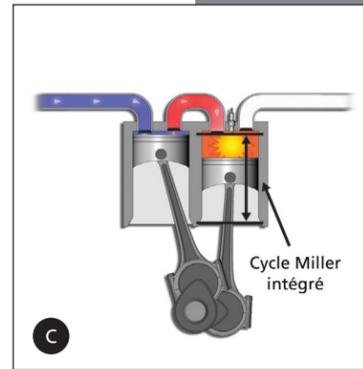
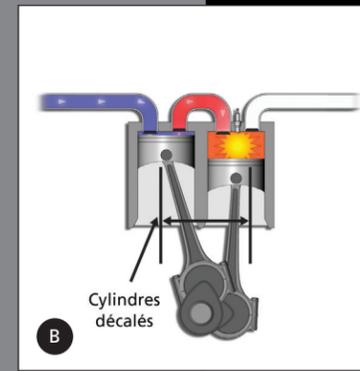
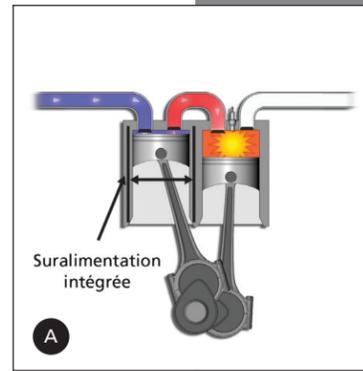
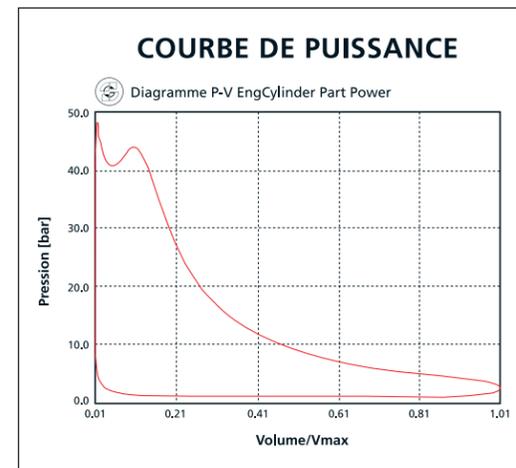
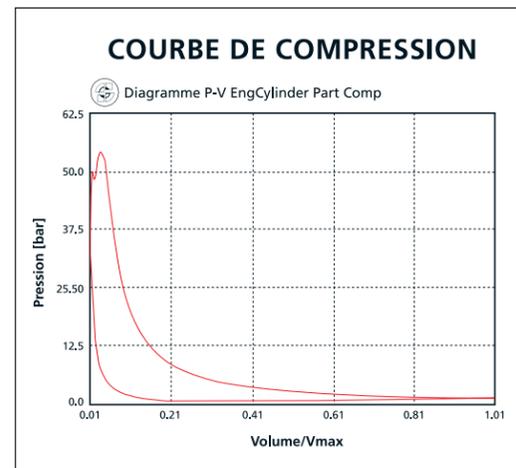
La réponse se trouve dans la thermodynamique des changements de pression et de volume utilisés par un moteur pour produire un travail mécanique.

Dans un moteur à combustion interne, les deux courses à haute pression de compression et détente consomment et produisent de l'énergie. La course de compression est un travail négatif, ou une énergie que le moteur utilise pour travailler sur les gaz. La course de détente est un travail positif, ou une énergie que les gaz de combustion en expansion produisent sur le moteur pour générer un travail mécanique.

L'énergie nette produite par le moteur (son rendement) est l'énergie générée pendant la course de détente, moins la quantité d'énergie consommée par la course de compression. Les zones à l'intérieur des courbes indiquent la quantité d'énergie utilisée ou générée pendant chaque cycle.

L'énergie nette produite par le moteur à cycle divisé Scuderi est la différence entre les deux courbes pression-volume.

Lorsque le moteur fonctionne avec l'air comprimé stocké dans son réservoir d'air, les pertes dues à la compression sont pratiquement réduites à zéro. Le rendement du moteur dans ce mode de fonctionnement est quasiment la zone totale de la courbe de puissance.



## Avantages du moteur à cycle divisé Scuderi

- A Un des principaux avantages de la technologie Scuderi du cycle divisé est sa souplesse de conception. De nombreuses fonctions qui nécessiteraient des appareillages supplémentaires ou sont tout simplement trop difficiles à mettre en œuvre dans un moteur classique sont facilement réalisées avec une configuration de cycle divisé Scuderi. Par exemple, la suralimentation peut être ajoutée en augmentant simplement le diamètre du cylindre de compression.
- B Le frottement du piston peut être réduit en décalant les cylindres de compression et de détente.
- C Un cycle Miller peut être réalisé en augmentant simplement la longueur du cylindre de détente.
- D Dans le moteur à cycle divisé Scuderi, on peut utiliser un turbocompresseur pour récupérer l'énergie du côté échappement du moteur. L'air sous pression sortant du turbocompresseur est introduit dans le cylindre de compression, ce qui réduit la quantité d'énergie nécessaire à la compression. Le gain net d'énergie obtenu par le mode turbocompressé est spécifique au moteur à cycle divisé Scuderi et impossible à réaliser avec une technologie de moteurs classique.

## Moteur air-hybride Scuderi — Le premier système hybride véritablement utilisable

- E **Mode normal de fonctionnement** : comme le moteur à cycle divisé Scuderi est en fait un compresseur dédié d'un côté et un moteur de l'autre, il suffit d'ajouter un réservoir d'air et les commandes appropriées pour le convertir en système hybride en mesure de récupérer et stocker l'énergie qui serait normalement perdue pendant le fonctionnement du moteur.
- F **Mode de freinage par récupération** : en désactivant le cylindre de détente lorsque la boîte de vitesses est encore en prise et en détournant le flux d'air comprimé vers le réservoir d'air, on fait en sorte que l'élan du véhicule assure le maintien de la rotation du moteur, comprimant et stockant ainsi l'air dans le réservoir d'air en vue d'une utilisation future.
- G **Mode haut rendement** : en désactivant le cylindre de compression et en utilisant l'air sous haute pression du réservoir d'air pour alimenter le cylindre de détente, le mode haut rendement réduit les pertes par compression à un taux proche de zéro.
- H **Mode vitesse stabilisée** : le mode de vitesse stabilisée haut rendement est obtenu en envoyant une partie de la charge du cylindre de compression vers le cylindre de détente. Le reste de la charge est envoyé dans le réservoir d'air en vue d'une utilisation ultérieure. Chaque fois que le réservoir d'air est plein, le cylindre de compression se désactive et le véhicule fonctionne en mode haut rendement.



SCUDERI GROUP

Goethestraße 18, 60313 Francfort (Allemagne) (téléphone) +49.69.928.8497.0 (télécopie) +49.69.928.8497.20 [www.ScuderiEngine.com](http://www.ScuderiEngine.com) ©2010 Scuderi Group, LLC. Tous droits réservés.