

Relance turbocompresseur et hybridation pneumatique

CHARLET Alain, VASILE Iulian , HIGELIN Pascal
Ecole Polytechnique de l'Université d'Orléans
Laboratoire de Mécanique et Énergétique
8, rue Léonard de Vinci, 45072 Orléans cedex 2

Contexte

- **La consommation des véhicules devient un enjeu majeur**
- **Dans les années à venir, il dépassera l'émission de polluants**

Problème

- **Le rendement global des moteurs thermiques est assez bon à pleine charge (35 à 40 %)**
- **Par contre, il est très faible à faible charge (jusqu'à 0% au ralenti)**
- **Le cycle thermodynamique n'est pas réversible : L'énergie cinétique ne peut pas être retransformée en carburant**

- ☛ **La réduction de la consommation passe par :**
 - ⇒ La suppression du fonctionnement à faible charge
 - ⇒ Le stockage de l'énergie cinétique durant les phases de décélération

Solutions

■ Downsizing

- ⇒ Réduction de la cylindrée
- ⇒ Suralimentation pour conserver les performances

■ Véhicule hybride

- ⇒ Moteur à combustion interne conventionnel
- ⇒ Convertisseur d'énergie réversible
- ⇒ Système de stockage de l'énergie

Inconvénients

- **Faible couple disponible sans suralimentation**
- **Relance turbo importante lors des forts transitoires**
- **Cout des installations hybrides**

- **Nécessite des solutions complexes et/ou coûteuses**
 - ⇒ Contrôle du remplissage en utilisant des VVT et l'injection directe
 - ⇒ Utilisation d'un compresseur à la place d'un turbocompresseur
 - ⇒ turbocompresseur avec relance électrique

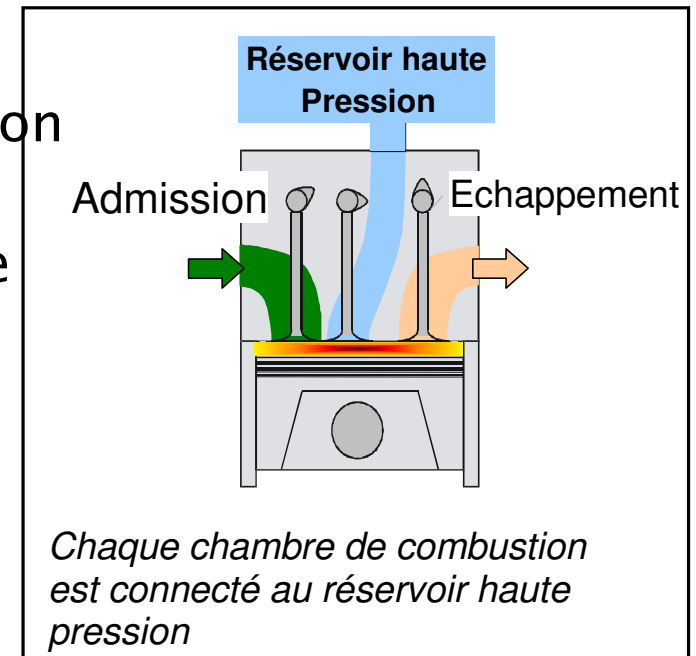
Une approche nouvelle : l'hybridation pneumatique

■ Le concept

- ⇒ Basé sur un moteur à combustion interne 'classique'
- ⇒ Ajout d'une soupape connectée à un réservoir sous pression
- ⇒ L'énergie cinétique est stockée sous forme d'air comprimé

■ Modes de fonctionnement

- ⇒ Moteur pneumatique
- ⇒ Pompe pneumatique
- ⇒ Suralimentation pneumatique
- ⇒ Sous-alimentation pneumatique



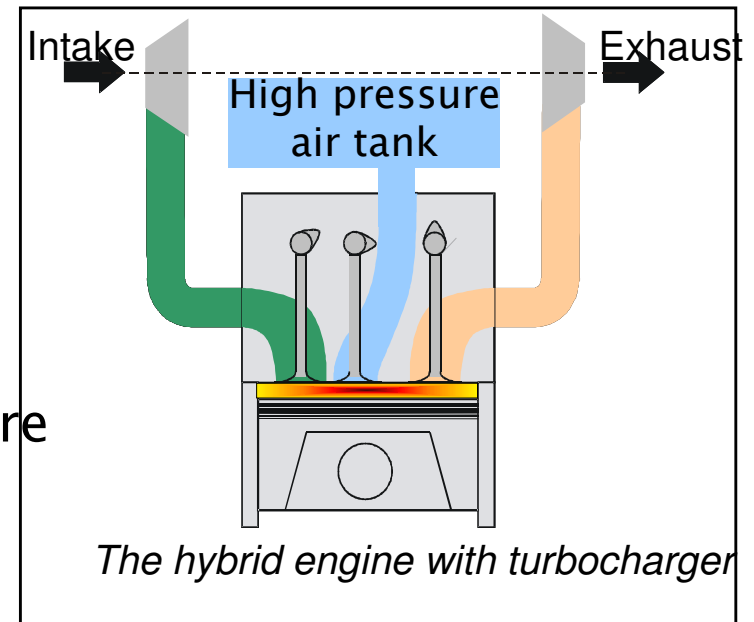
Moteur hybride pneumatique downsizé

■ Moteur downsizé

- ⇒ Cylindrée réduite
- ⇒ Performances conservées grâce à la suralimentation
- ⇒ Inconvénient : retard du couple en transitoire

■ Moteur hybride downsizé

- ⇒ La suralimentation hybride peut compenser le retard.
- ⇒ Possibilité d'obtenir le couple max 'instantanément'
- ⇒ Possibilité d'augmenter le downsizing



Mode de suralimentation pneumatique

■ Admission et échappement

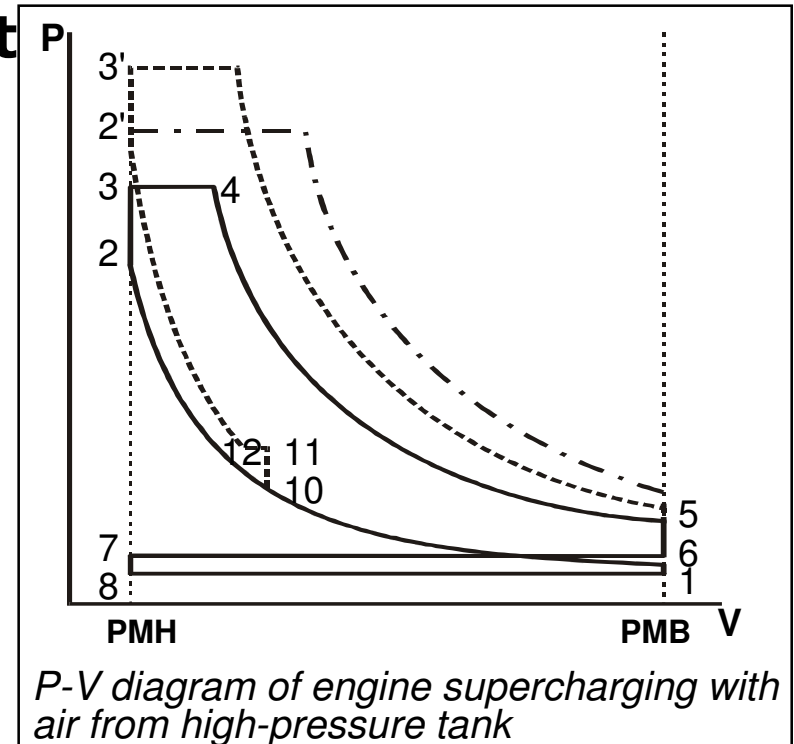
- ⇒ Cycle hybride identique au cycle conventionnel
- ⇒ Admission (8-9-1)
- ⇒ Echappement (5-6-7)

■ Combustion et détente

- ⇒ Cycle hybride (2'-3'-4'-5')
- identique au cycle conventionnel (2-3-4-5)

■ Compression:

- ⇒ Début de la compression (1-10)
- ⇒ Suralimentation additionnelle (10-11-12)
- ⇒ Fin de la compression (12-2')



Modèle Moteur

- **Modèle 0D**
- **Basé sur des cycles théoriques**
- **Gaz parfaits**
- **Conservation de la masse,**
- **Conservation de l'énergie**
- **Prise en compte des espèces**
- **4 éléments modélisés**
 - ⇒ Turbocompresseur
 - ⇒ Conduit d'admission, échappement, ...
 - ⇒ Papillon
 - ⇒ Moteur

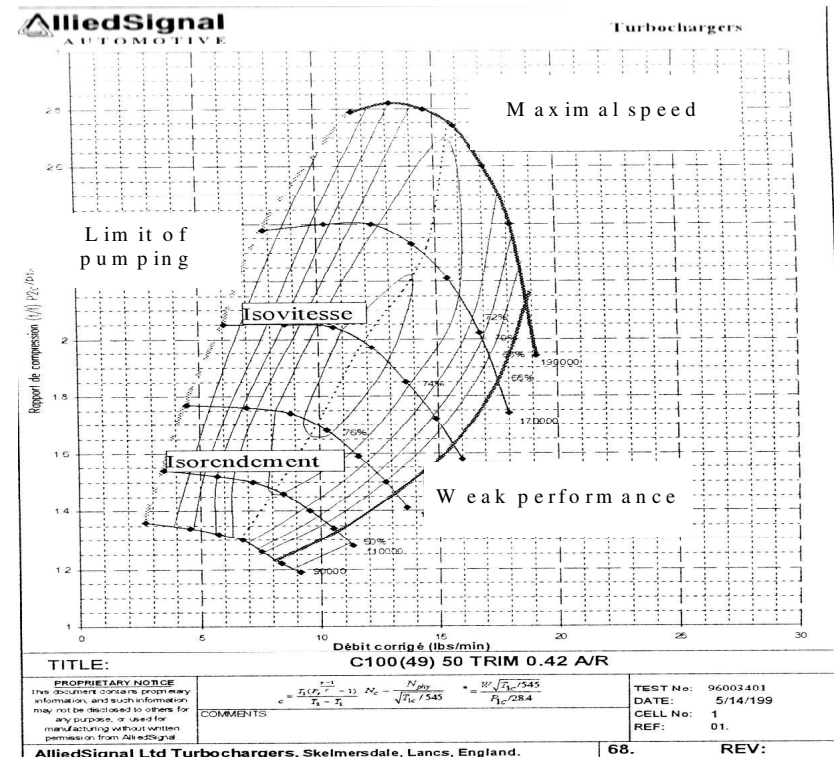
(Journal reference: Int. J. Engine. Res. Vol. 5. No. 2 JER 03002.© 2004. IMechE)

Modèle turbocompresseur

- Basé sur une approche cartographique
- Modèle compresseur

$$\eta_c = \frac{\left(\frac{P_{02}}{P_{01}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{\frac{T_{02}}{T_{01}} - 1}$$

$$P_c = \frac{\dot{m}_i \cdot c_{p_i} \cdot T_i}{\eta_c} \cdot \left[\left(\frac{p_i}{p_a}\right)^{\frac{\gamma_i-1}{\gamma_i}} - 1 \right]$$

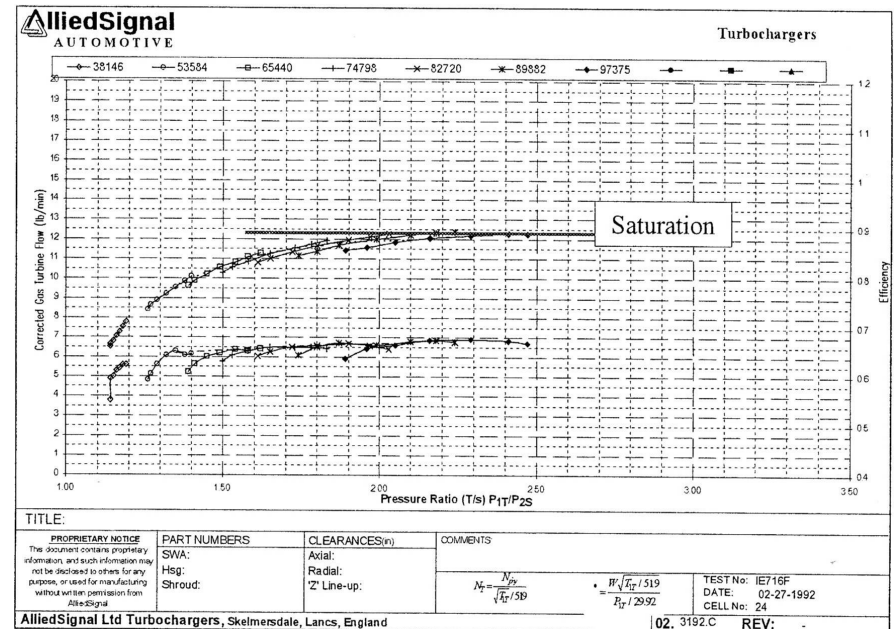


Modèle turbocompresseur

■ Modèle turbine

$$\eta_t = \frac{1 - \frac{T_{04}}{T_{03}}}{1 - \left(\frac{P_{04}}{P_{03}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$$

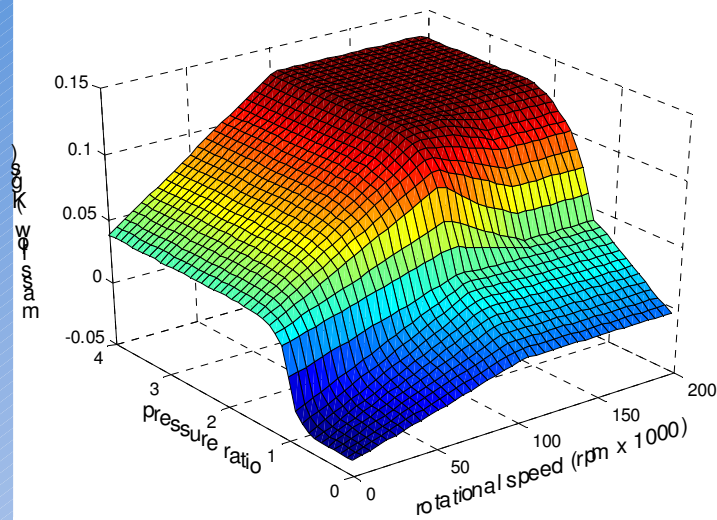
$$P_T = \dot{m}_T \cdot c_{pe} \cdot T_e \cdot \eta_T \cdot \left[1 - \left(\frac{P_a}{P_e}\right)^{\frac{\gamma_e-1}{\gamma_e}} \right]$$



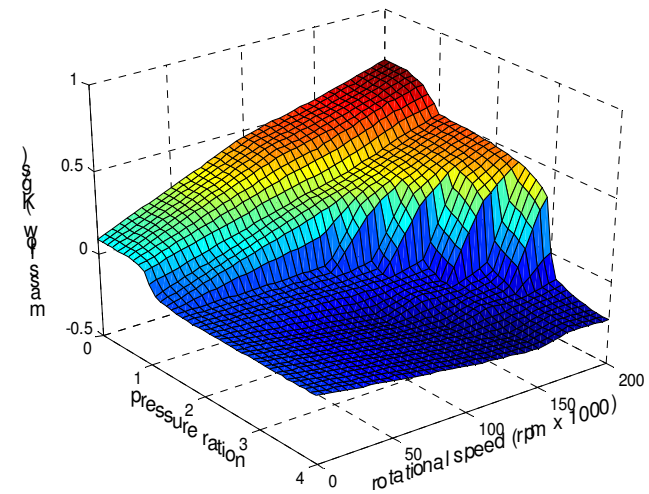
■ Equilibre des puissances

$$\omega_T = \frac{1}{I_T} \cdot \frac{\int (P_T - P_C) \cdot dt}{\omega}$$

Modèle turbocompresseur



Turbine



Compresseur

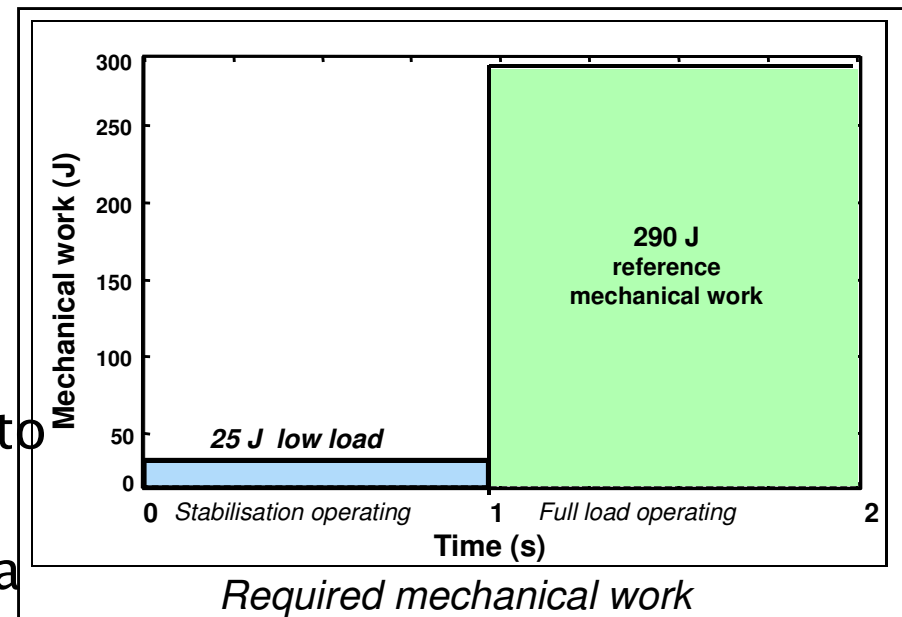
OPERATING CONDITIONS (1)

■ Engine configurations

- ⇒ Naturally aspirated engine (2 L) – **reference engine**
- ⇒ Downsized (1 – 1.6 L) – CE with turbocharger
- ⇒ Hybrid (1 – 1.2 L) – CE with turbocharger and air tank
- ⇒ Tank volume = 20 L

■ Operating conditions

- ⇒ Simulation start:
low load (25 J)
- ⇒ After stabilization:
instantaneously jump to
high load (290 J)
- ⇒ Tank pressure = 1 MPa



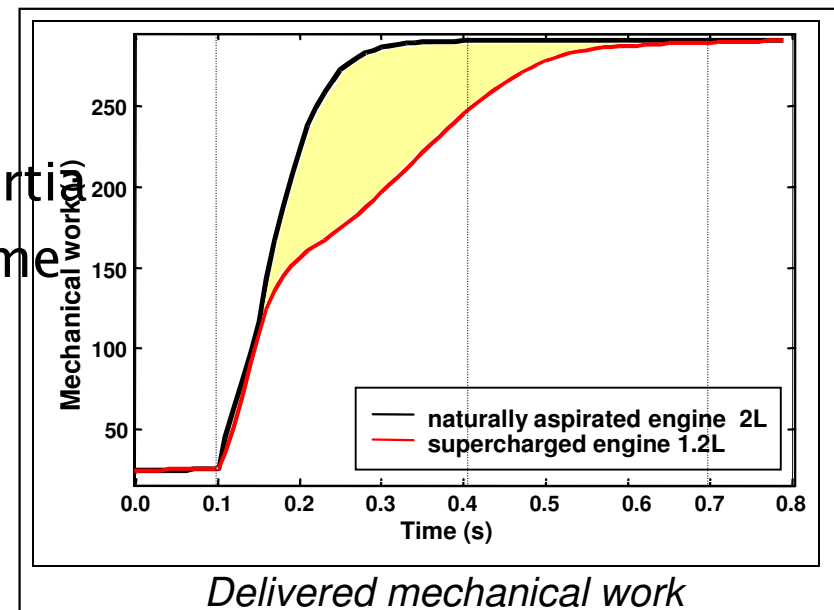
RESULTS: NA vs. downsized

■ Maximum mechanical work

- ⇒ Naturally aspirated 2 L engine = supercharged 1.2 L engine
- ⇒ Provided quicker by naturally aspirated reference engine vs. supercharged engine

■ Torque lag

- ⇒ is due to turbocharger inertia
- ⇒ is due to intake pipe volume
- ⇒ varies according to:
 - engine displacement
 - engine speed
 - turbocharger
 - intake system



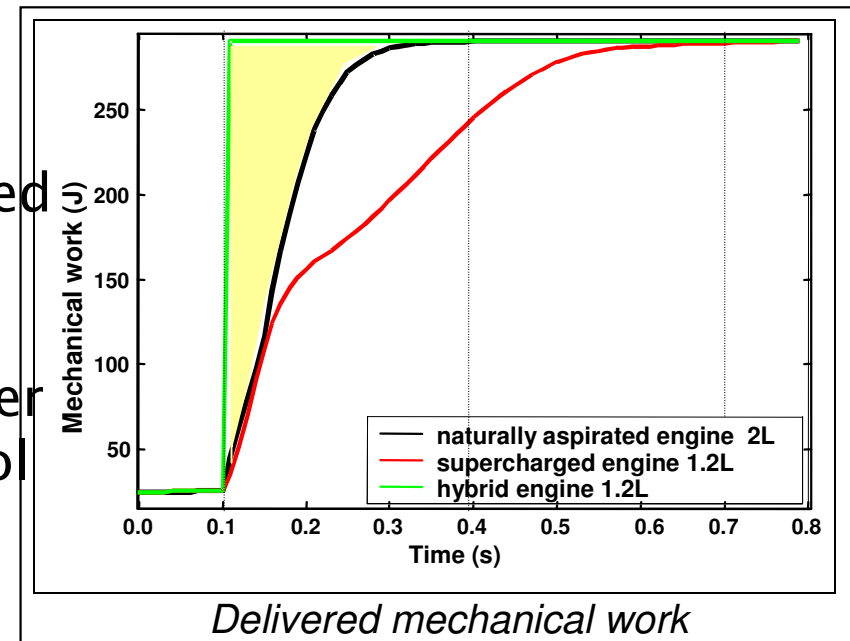
RESULTS: NA vs. hybrid downsized

■ Maximum mechanical work

- ⇒ Naturally aspirated 2 L engine = hybrid 1.2 L engine
- ⇒ Provided quicker by hybrid engine vs. naturally aspirated reference engine

■ Torque lag

- ⇒ Drawback of supercharged engine is compensated
- ⇒ Hybrid concept allows cycle by cycle and cylinder by cylinder torque control



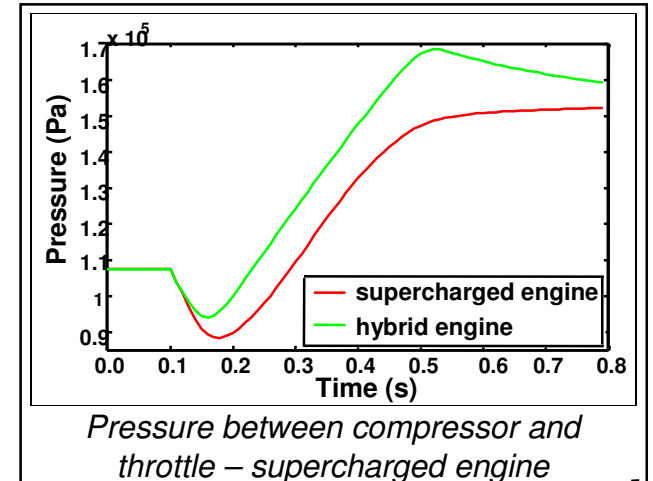
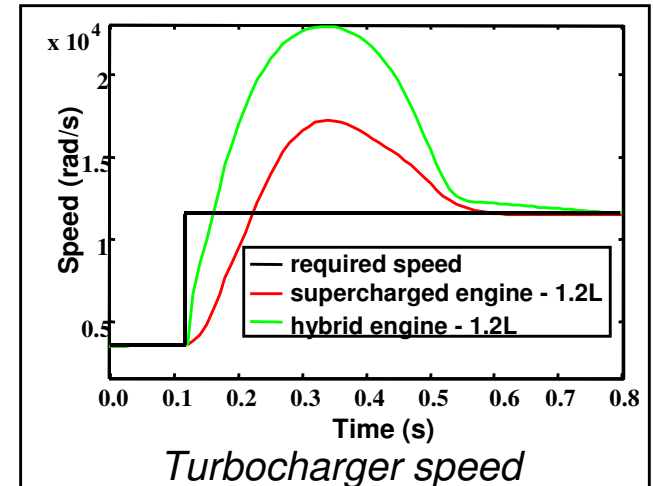
RESULTS: Indirect hybridization effects

■ Indirect effects of hybridization

- ⇒ Faster turbocharger speed increase
- ⇒ Faster manifold pressure increase

■ Hybrid torque compensation

- ⇒ Increased in-cylinder air mass
- ⇒ More enthalpy at the turbine
- ⇒ Faster turbocharger spool up
- ⇒ Faster intake pressure increase



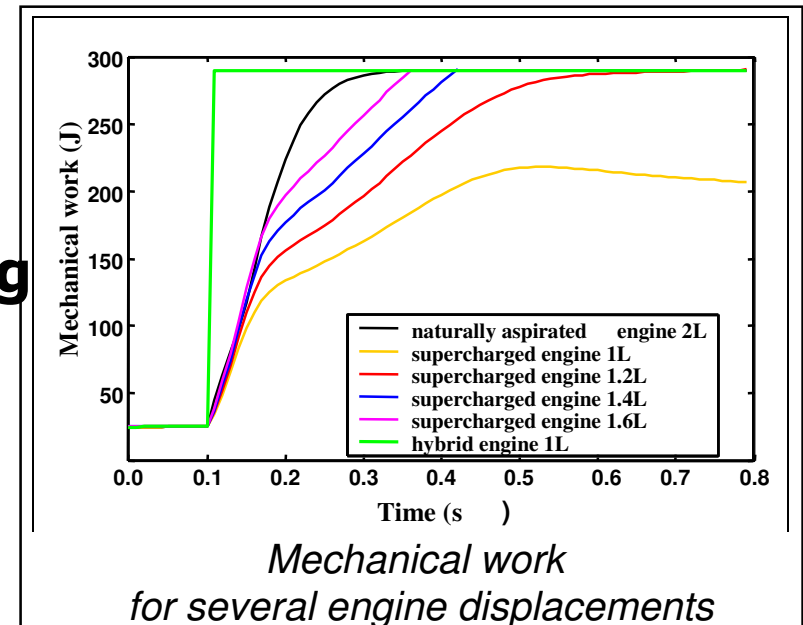
RESULTS: Strong downsizing

■ Mechanical work evolves also according

- ⇒ Engine displacement
- ⇒ Intake pressure

■ Limits of strong downsizing

- ⇒ Higher intake pressure
- ⇒ Larger turbocharger
- ⇒ Higher torque lag



■ Thanks to the new hybrid concept

- ⇒ Turbocharger lag can be fully compensated
- ⇒ Higher levels of downsizing can be achieved without lag

CONCLUSION

- **New Hybrid Downsized Engine Concept has been presented**
- **Based on a Pneumatic Hybrid Engine Concept**
 - ⇒ Uses ICE for several means (compressor, motor)
 - ⇒ Conventional technology
 - ⇒ Small investment, lightweight
- **Torque lag**
 - ⇒ Can be fully compensated
 - ⇒ Even for strongly downsized engines (1L hybrid vs. 2L NA)
- **Turbocharger lag**
 - ⇒ Lowered in terms of turbocharger speed and intake pressure
 - ⇒ Small high pressure air tank is adequate (20L)