

Le Système de Production PSA et l'expertise des métiers au service des objectifs du groupe

➤ VOIES D'AMÉLIORATION DES PERFORMANCES MOTEURS ESSENCE ET DIESEL

**Présentation SIA du 31 Mars 2009
Christophe HANCKE**

Contributeurs : P. MAREZ, B. SWOBODA, O. SALVAT, O. PAJOT, F. VIDAL

- **Définition et description du périmètre**
- **Rappel de la physique des performances**
- **Voies d'améliorations techniques**
- **Conclusions**

■ DEFINITION ET DESCRIPTION DU PERIMETRE

➤ Performances moteurs

- ❑ Levier de réduction du CO₂ : L'augmentation des performances spécifiques (kW ou Nm / L de cylindrée) permet de réduire la cylindrée ([downsizing](#)) et/ou de rallonger les rapports de boîtes → Tous les progrès intrinsèques en performances spécifiques peuvent être traduits en gain de consommation
- ❑ Levier sécurité active : L'amélioration des reprises bas régimes par l'optimisation du couple instantané et du temps de montée en couple amène une meilleure disponibilité du véhicule
- ❑ Levier apportant de la valeur au produit véhicule
 - Puissance : élément de base de la construction de gamme qui traduit un « niveau » de motorisation et qui permet donc de la réalisation de montées en gamme (au même titre que certains équipements)
 - Valorisation dans le prix de vente : fonction du segment, de l'énergie, des marchés

■ DEFINITION ET DESCRIPTION DU PERIMETRE

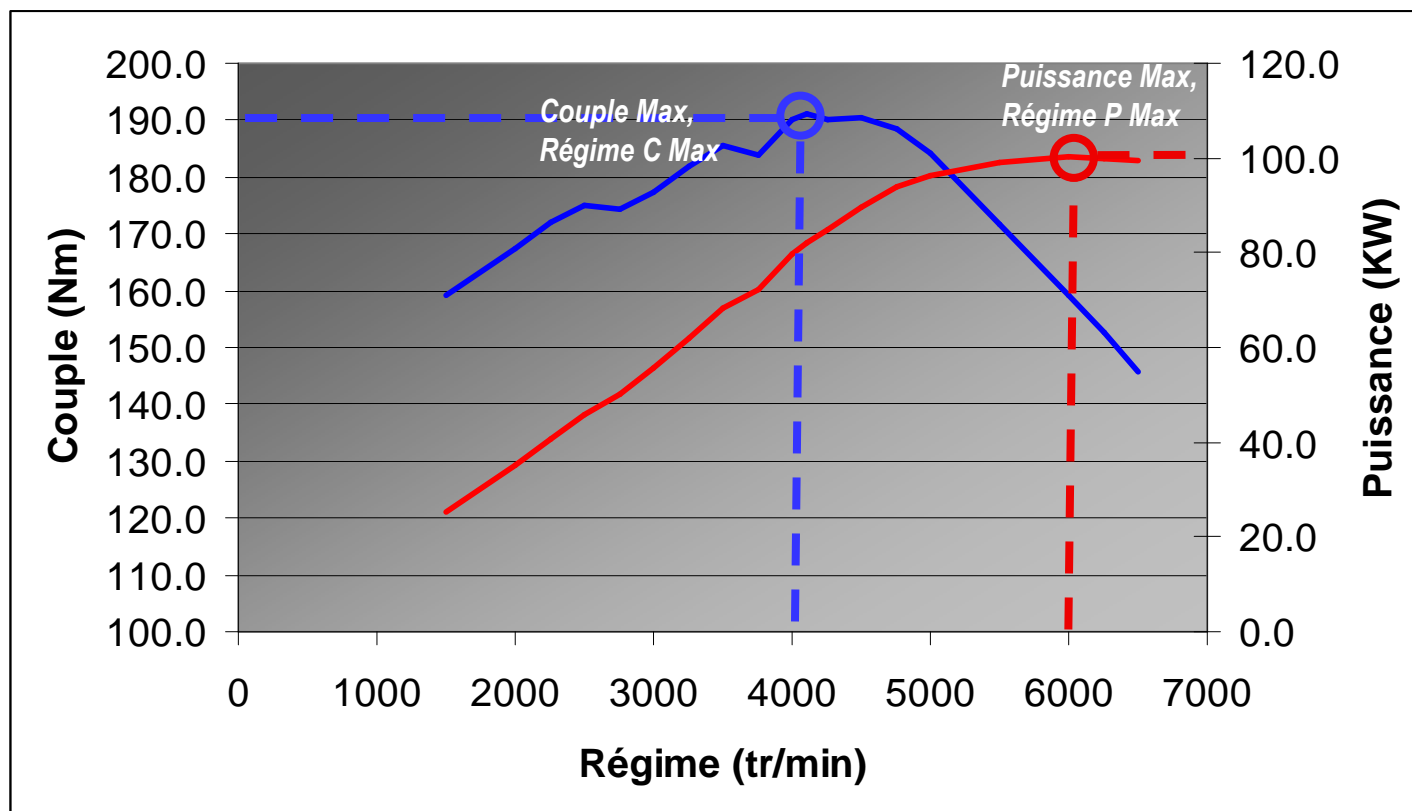
➤ Description du périmètre

- ❑ Performances moteurs stabilisées et notions d'homologation
- ❑ Notions de performances instantanées et transitoires
- ❑ Notions d'adaptation
- ❑ Relation performances / CO₂

■ PERFORMANCES MOTEURS STABILISEES ET HOMOLOGATION

➤ Notions de performances homologuées : Couple (Nm) et Puissance (kW)

- Seuls les niveaux de performances stabilisées à puissance maximale (P_{\max}) et couple maximal (C_{\max}) ainsi que les régimes moteurs correspondants sont homologués et réglementaires.



- Rappel : Conversion kW \leftrightarrow ch : 1ch = 0.736kW

■ NOTIONS DE PERFORMANCES INSTANTANÉES ET TRANSITOIRES

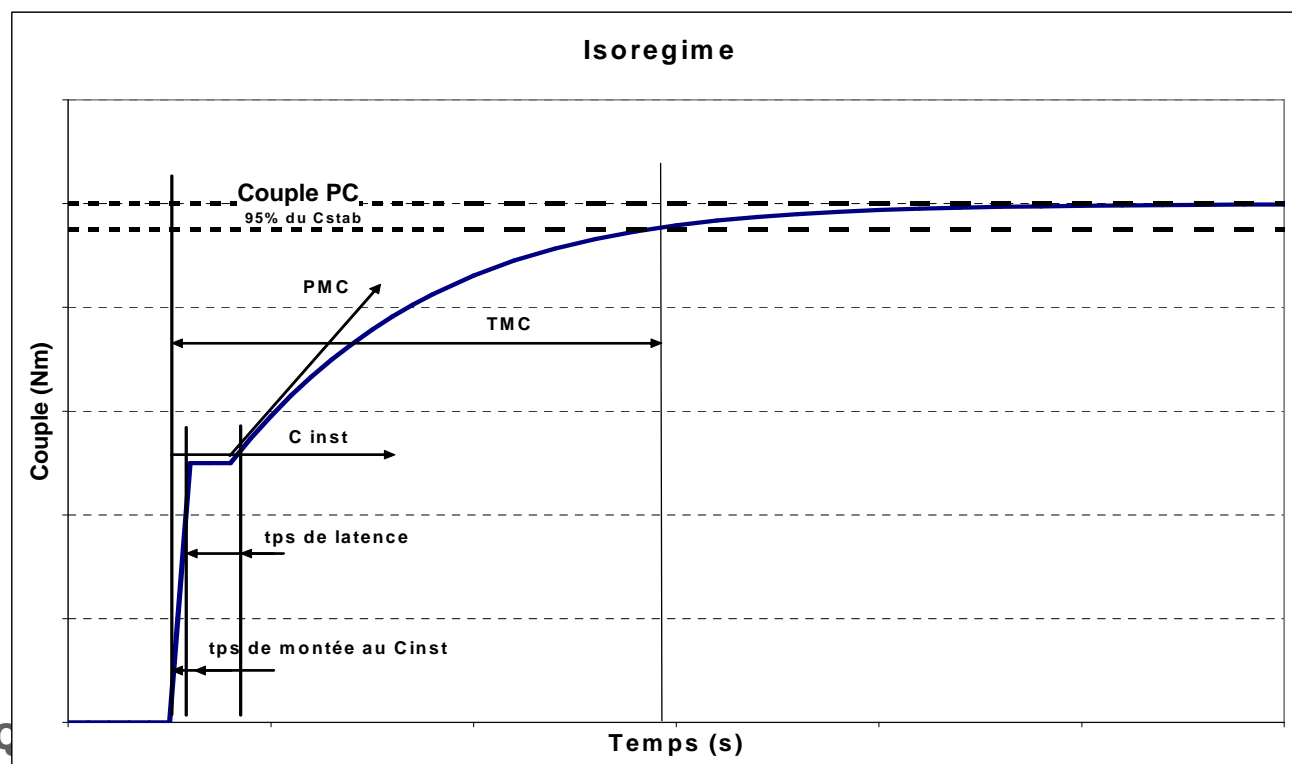
➤ Performances moteurs suralimentés en transitoires caractérisées par :

□ Couple instantané (C_{inst}) :

Couple disponible instantanément à l'enfoncement pédale d'accélérateur

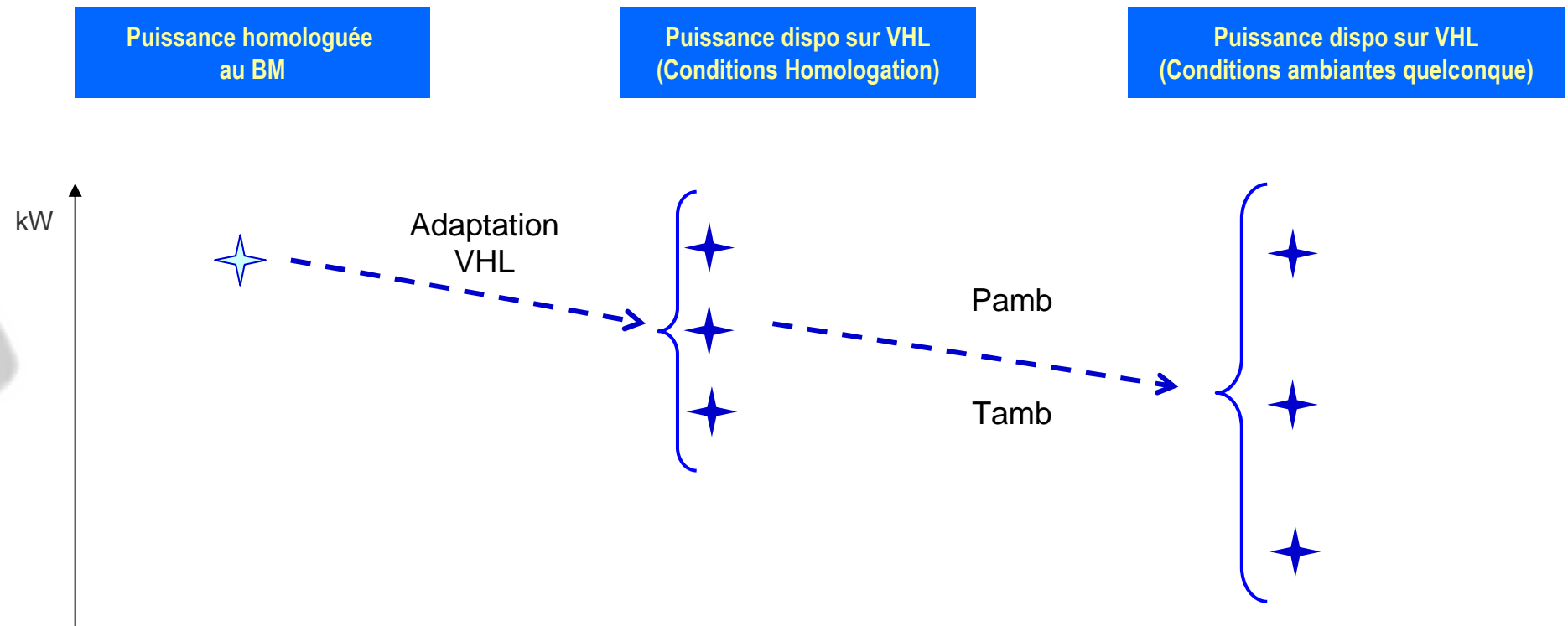
□ Pente de montée en couple (PMC) :

Aptitude à rejoindre la pleine charge le plus rapidement possible = fonction de la définition de la machine de suralimentation (typage turbocompresseur), autres paramètres d'adaptation Moteur, GMP, ...



■ NOTIONS D'ADAPTATION

➤ Performances moteurs et performances vues par le client



- Conditions ambiantes + adaptation VHL + dispersions production
→ Puissance homologuée \neq Puissance client sur véhicule

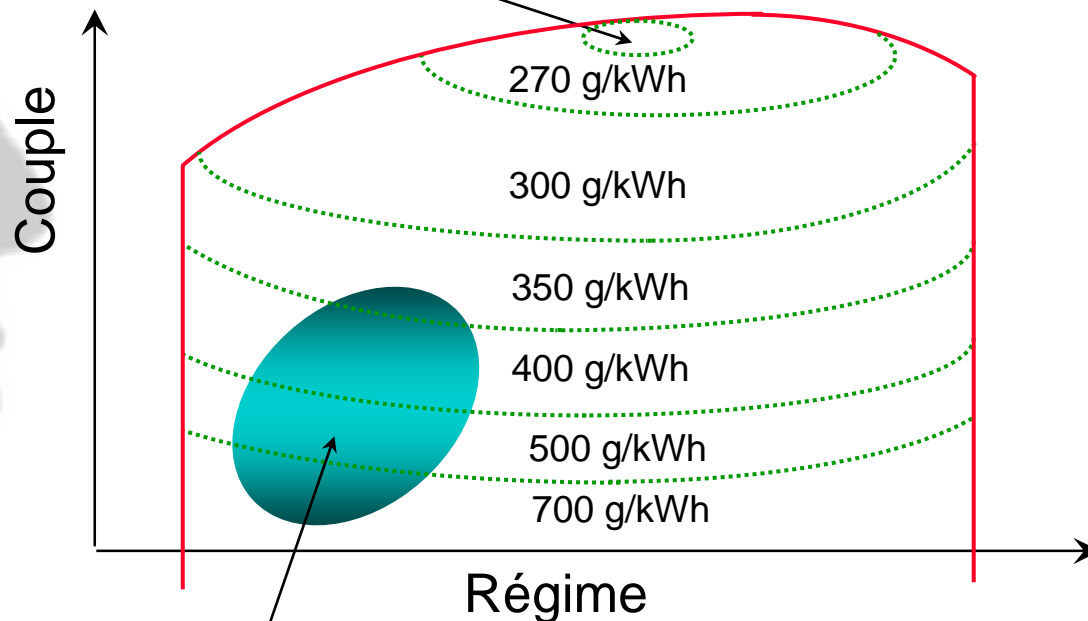
■ RELATION PERFORMANCES / CO2

➤ Downsizing (effet de réduction de cylindrée)

Performance

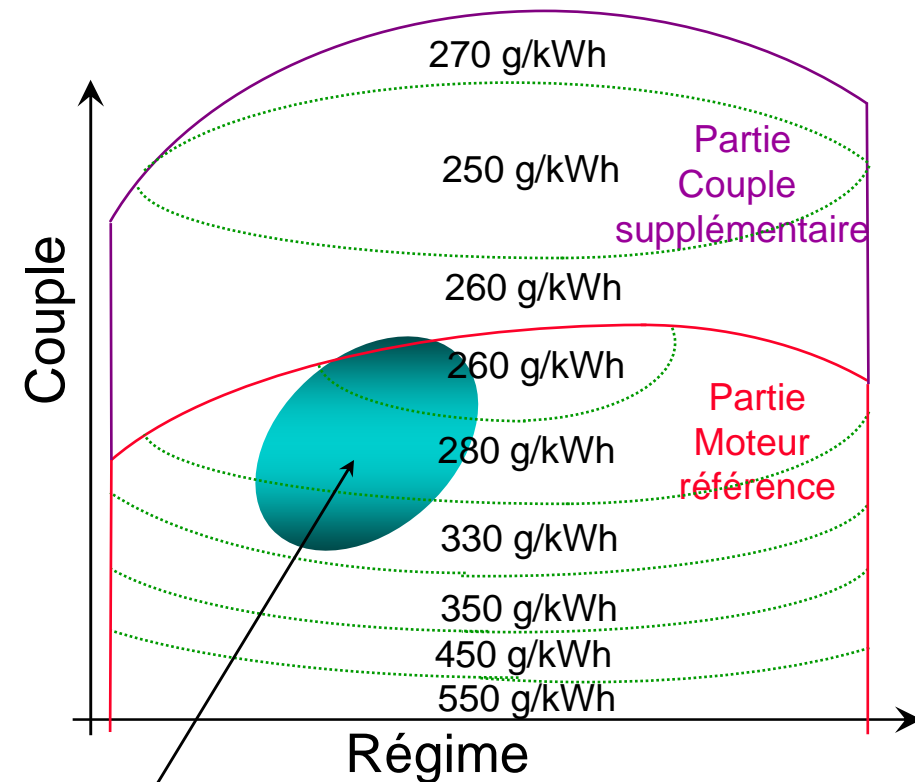
Moteur référence

Opti: rendement moyen $\eta = 0.33$ (250 g/kWh)



Zone principale d'utilisation de la map:
Rendement moyen $\eta = 0.17$ (480 g/kWh)

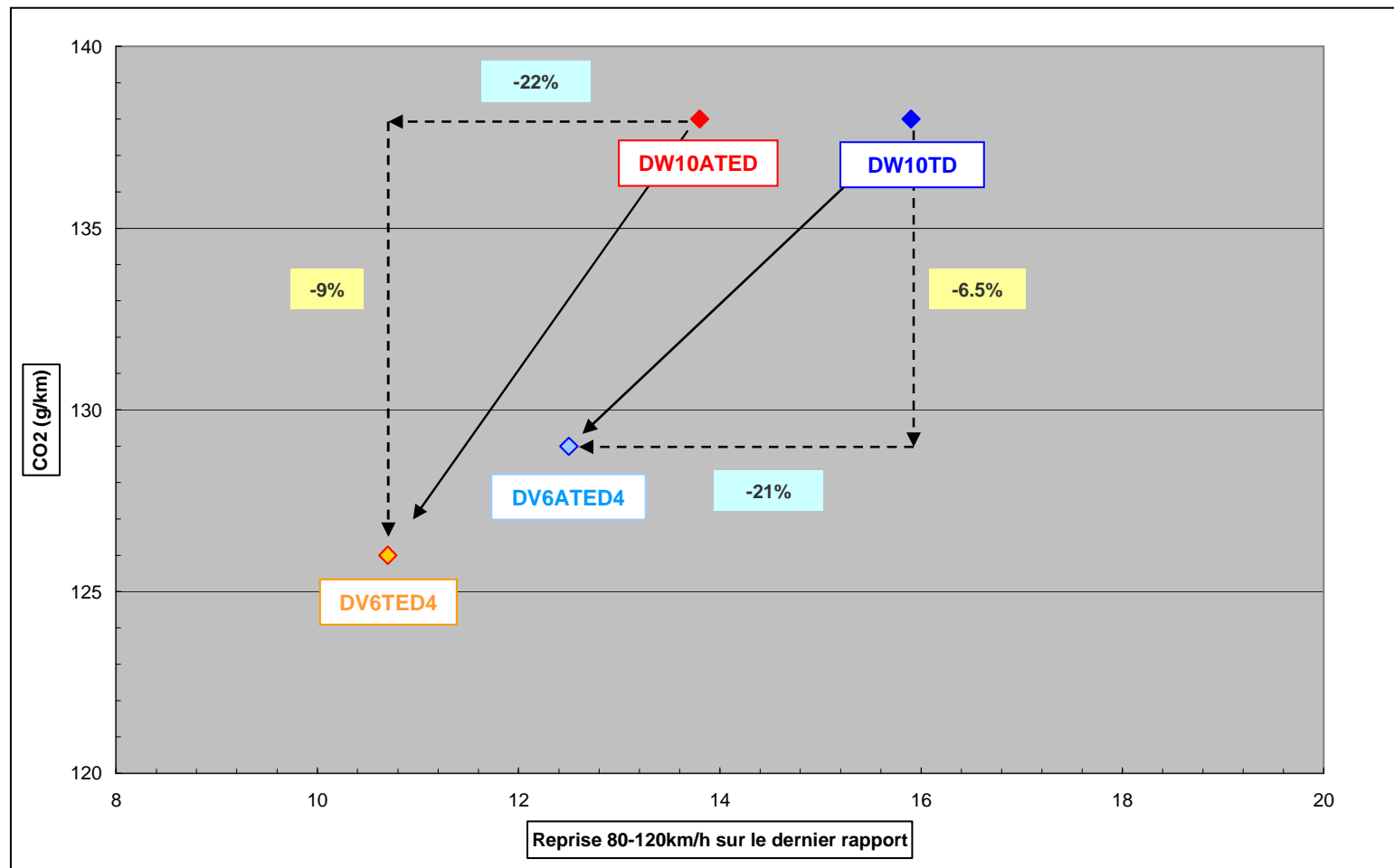
Moteur downsizé



Zone principale d'utilisation de la map
Rendement moyen $\eta \sim 0.25$ (330 g/kWh)

■ RELATION PERFORMANCES / CO2

- Le downsizing (Effet réduction de cylindrée à iso performances) : Exemple sur 307



Source des données: EPCT



■ RAPPEL DE LA PHYSIQUE DES PERFORMANCES

➤ **Basiques de la performance**

- ☐ Puissance Essence
- ☐ Puissance Diesel
- ☐ Rendements moteur

Performance

■ BASIQUES DE LA PERFORMANCE

Puissance en essence

$$Pe \text{ [kW]} = Q_{air} \text{ [kg/s]} * q \text{ [kJ/kg]} * \eta_{th} * \eta_{org}$$

➤ Débit d'air frais aspiré par le moteur

➤ Rendement thermodynamique

➤ Rendement Mécanique

➤ Energie libérée par kg de mélange carburé :

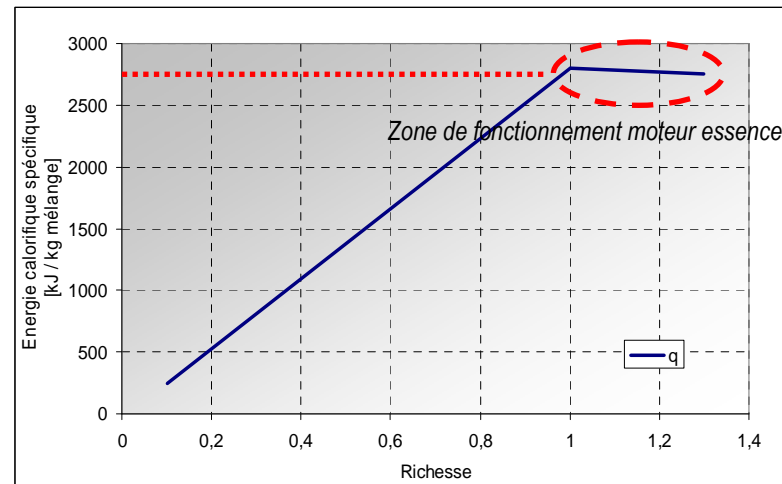
➤ L'énergie calorifique (q_s) dépend peu du type de carburant :

$$q_s = PCI \text{ [kJ/kg]} / \Psi_s$$

➤ q_s supercarburant = 2780 kJ/kg

➤ q_s éthanol = 2775 kJ/kg

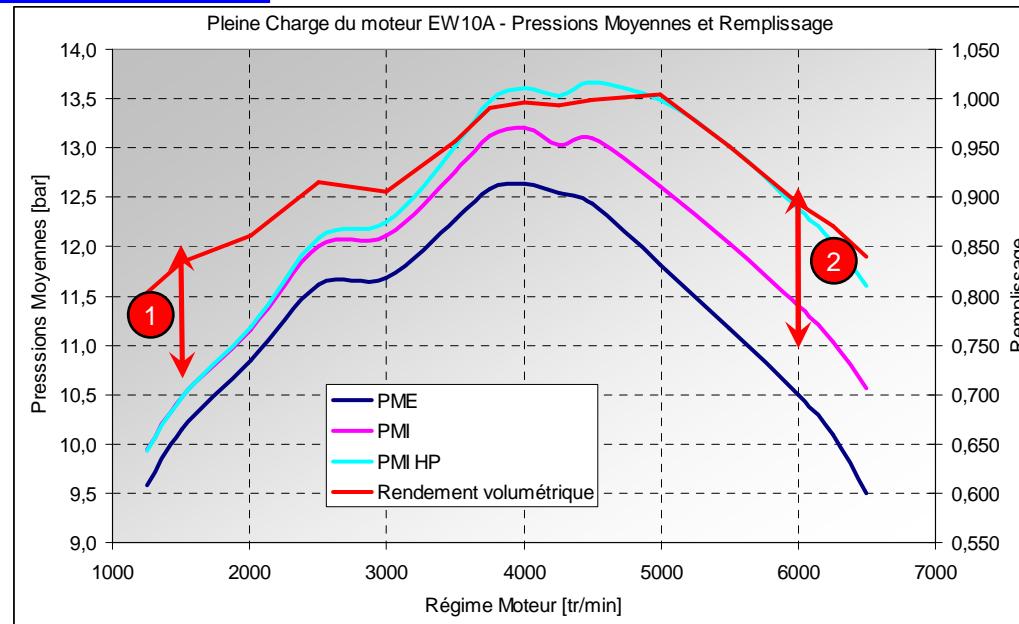
➤ q_s propane = 2782 kJ/kg



➤ L'énergie libérée par kg d'air admis dépend peu de la masse de carburant

■ BASIQUES DE LA PERFORMANCE

Puissance en essence



- La courbe pleine charge d'un moteur atmosphérique est directement déduite de la courbe de rendement volumétrique, moyennant :
 - une pénalité liée à l'utilisation de l'air à bas régime (limite cliquetis)
 - une pénalité liée aux pertes par pompage (PMI_{BP}) et par frottements (PMF) à haut régime
- La puissance est directement proportionnelle au débit d'air et au rendement global moteur

■ BASIQUES DE LA PERFORMANCE

Puissance en Diesel

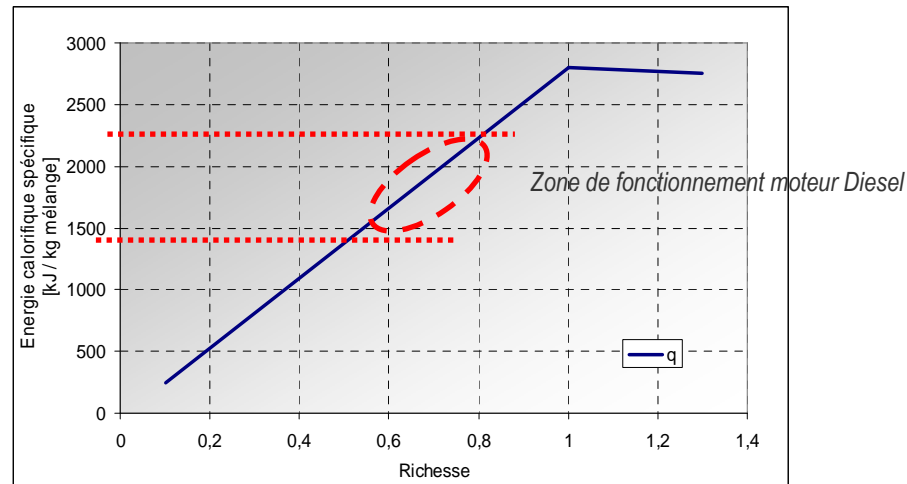
$$P_e \text{ [kW]} = Q_{\text{air}} \text{ [kg/s]} * q \text{ [kJ/kg]} * \eta_{th} * \eta_{org}$$

➤ Débit d'air frais aspiré par le moteur

➤ Rendement Mécanique

➤ Rendement thermodynamique

➤ Energie libérée par kg de mélange carburé :



- Par kg d'air admis, la puissance est directement proportionnelle à l'énergie calorifique libérée dépendant elle-même de la richesse de fonctionnement et par conséquent du débit de carburant introduit.
- Le débit maximum de carburant admissible est bornée par l'utilisation de l'air (Fumées/Température d'échappement)

■ BASIQUES DE LA PERFORMANCE

Rendement

Rendement thermodynamique théorique

$$\eta_{global} = \eta_{th} * \eta_{comb}$$

Rendement de combustion

Rendement mécanique

$$\eta_{cycle} * \eta_{org}$$

Rendement de cycle

Performance

■ BASIQUES DE LA PERFORMANCE

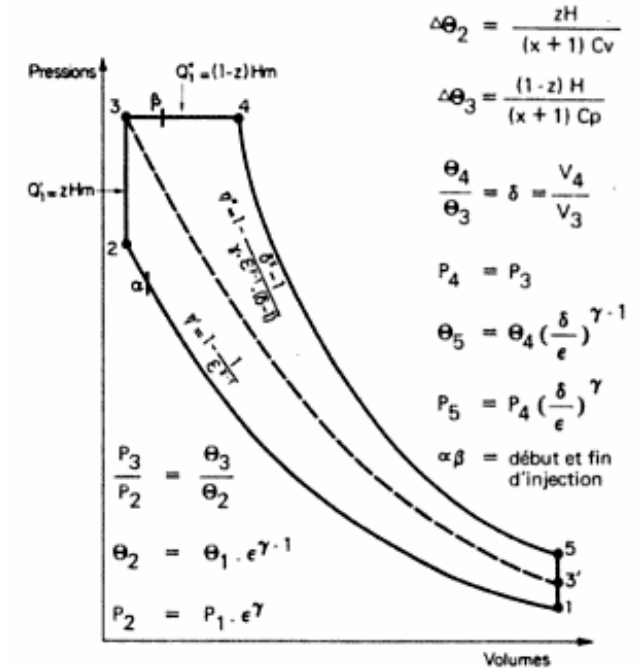
Rendement thermodynamique théorique

Cycle à volume constant : $\eta_{th.th.V} = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\gamma-1}}$

Cycle à pression constante : $\eta_{th.th.P} = 1 - \frac{\delta^{\gamma-1}}{\gamma \cdot \epsilon^{\gamma-1} \cdot (\delta - 1)}$

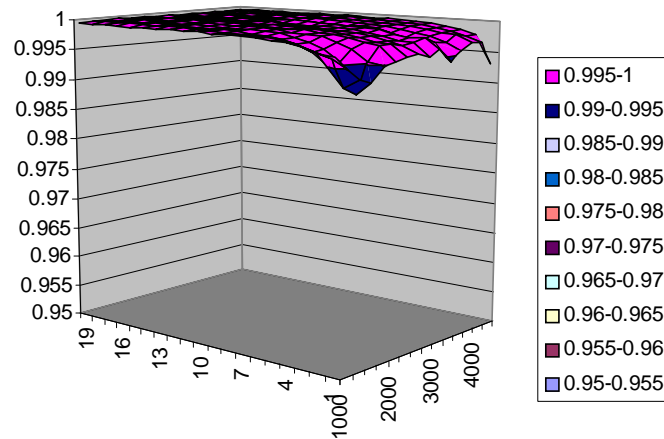
Cycle mixte : $\eta_{th.th.M} = z \cdot \eta_{th.th.V} + (1 - z) \cdot \eta_{th.th.P}$

	Essence	Diesel
ϵ	11	17
γ	1.33	1.37
$\eta_{th.th.V}$	0.55	0.65
δ	1.75	1.75
$\eta_{th.th.P}$	0.45	0.58
z	0.25	0.25
$\eta_{th.th.M}$	0.48	0.60

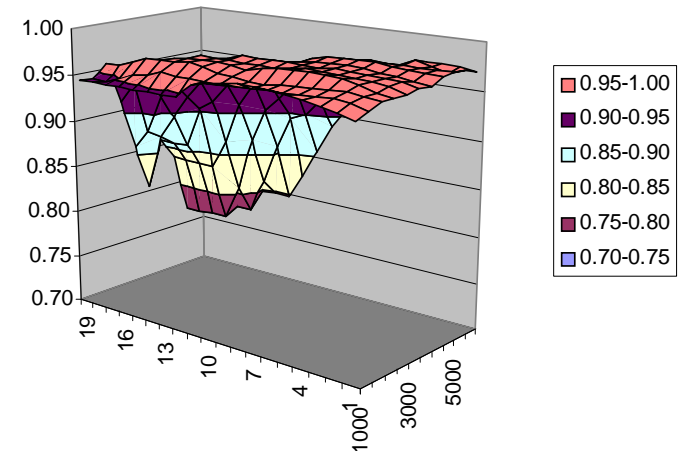


■ BASIQUES DE LA PERFORMANCE

Rendement de combustion



Moteur Diesel



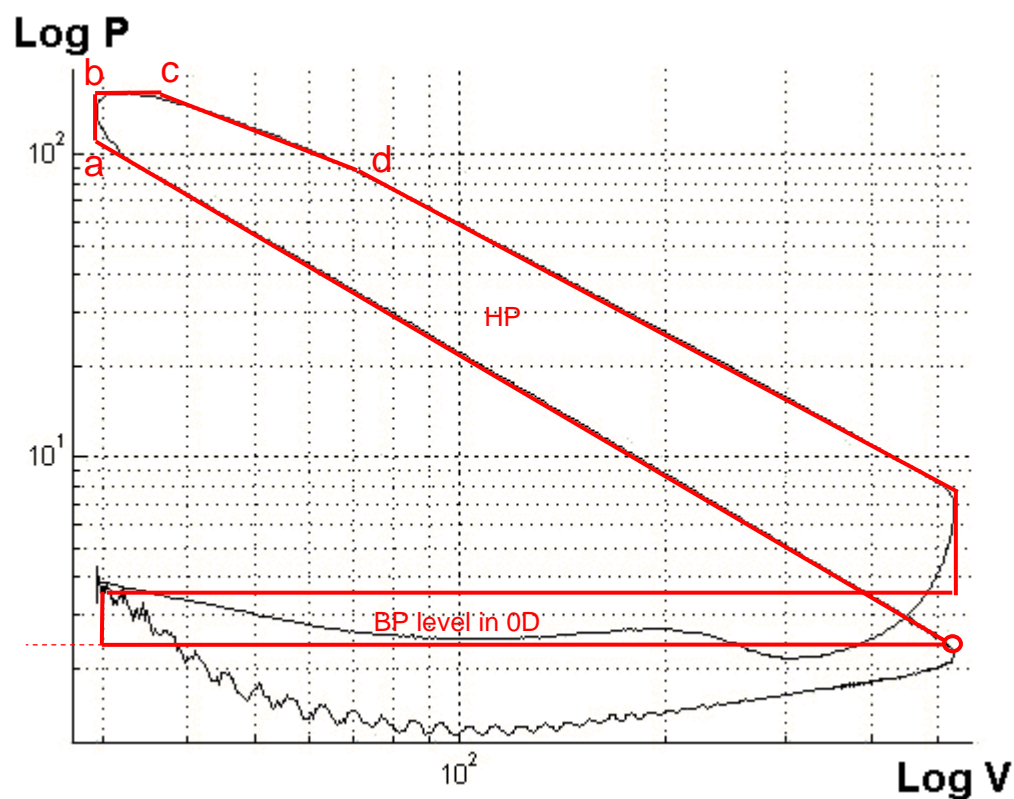
Moteur Essence

- Les bas régimes en essence peuvent encore être améliorés mais les gains resteront faibles

■ BASIQUES DE LA PERFORMANCE

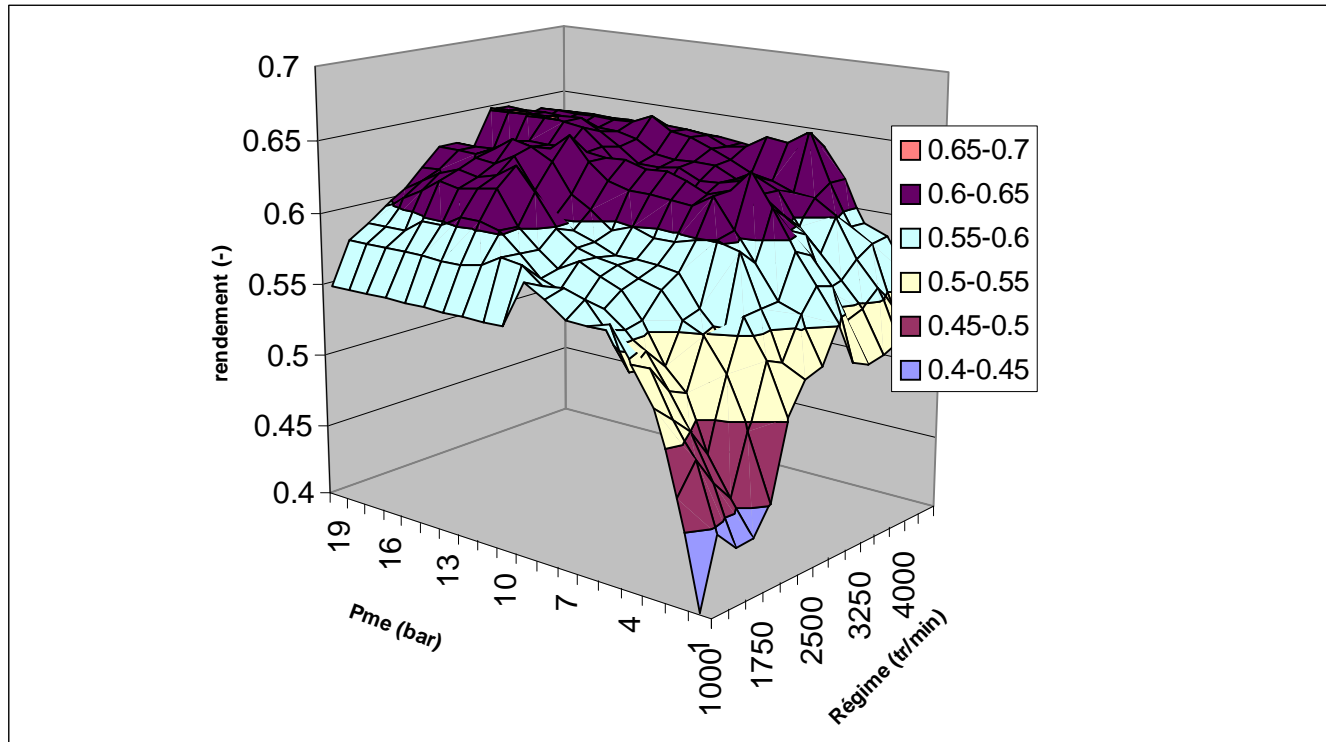
Rendement de cycle 1/2

- Ce rendement comprend les pertes thermiques, les fuites segmentations, le calage de la combustion et la forme du dégagement de chaleur, le pompage,



■ BASIQUES DE LA PERFORMANCE

Rendement de cycle 2/2

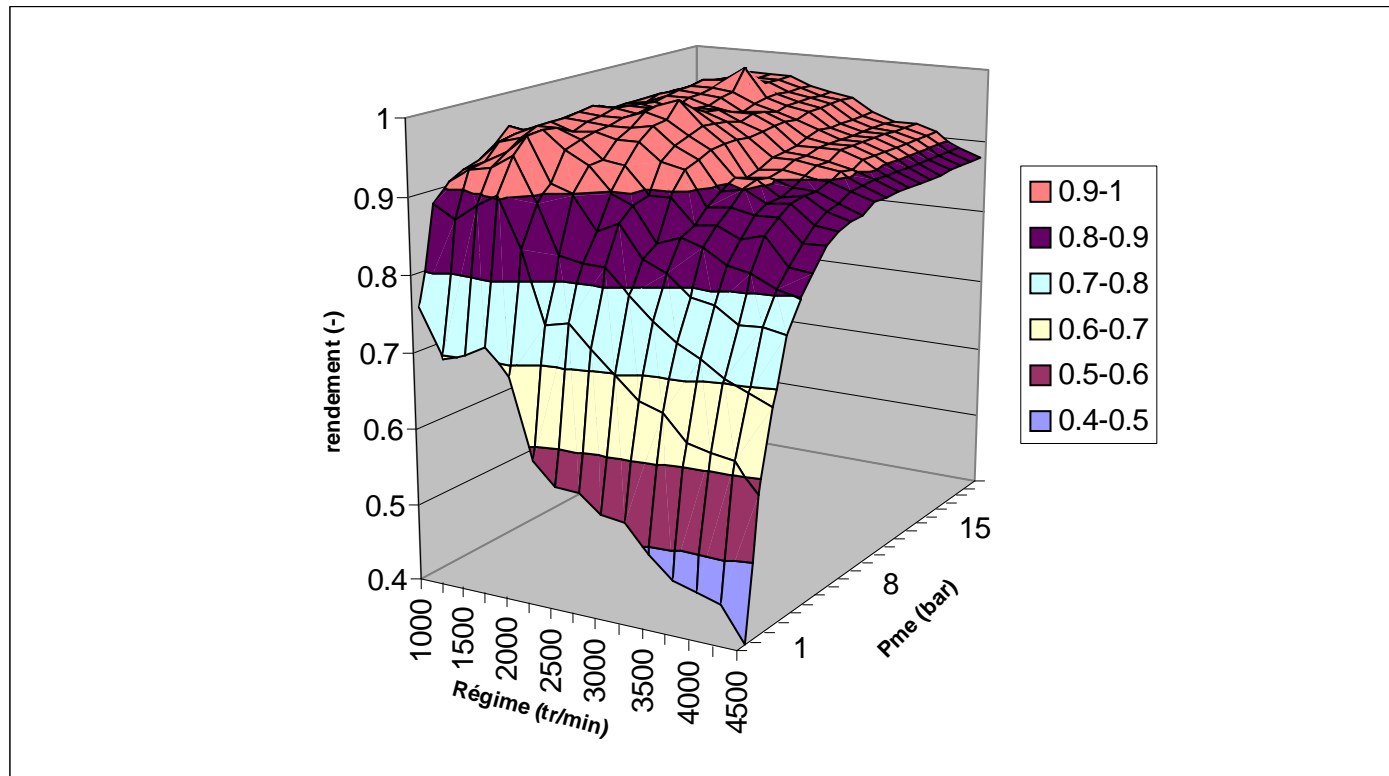


Moteur Diesel

- **Potentiel de récupération d'énergie non négligeable si le calage de la combustion peut être optimisé en maîtrisant les polluants et le bruit de combustion (actions optimisation chambre de combustion, contrôle moteur et post-traitement)**

■ BASIQUES DE LA PERFORMANCE

Rendement mécanique

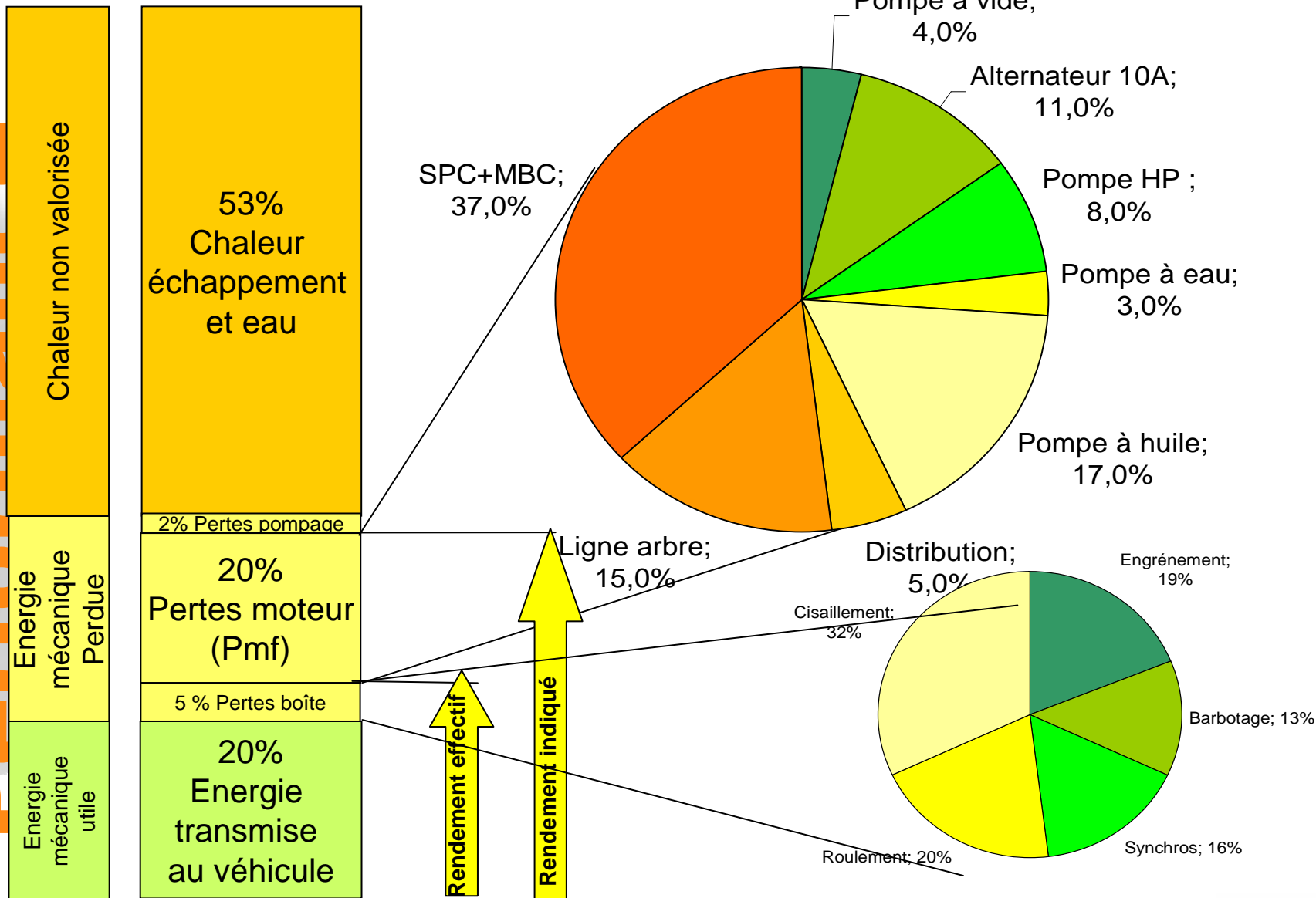


➤ Potentiel d'amélioration du rendement organique sur les faibles charges

■ BASIQUES DE LA PERFORMANCE

➤ Les enjeux et le poids des PMF sur la consommation homologuée

Energie introduite sur cycle

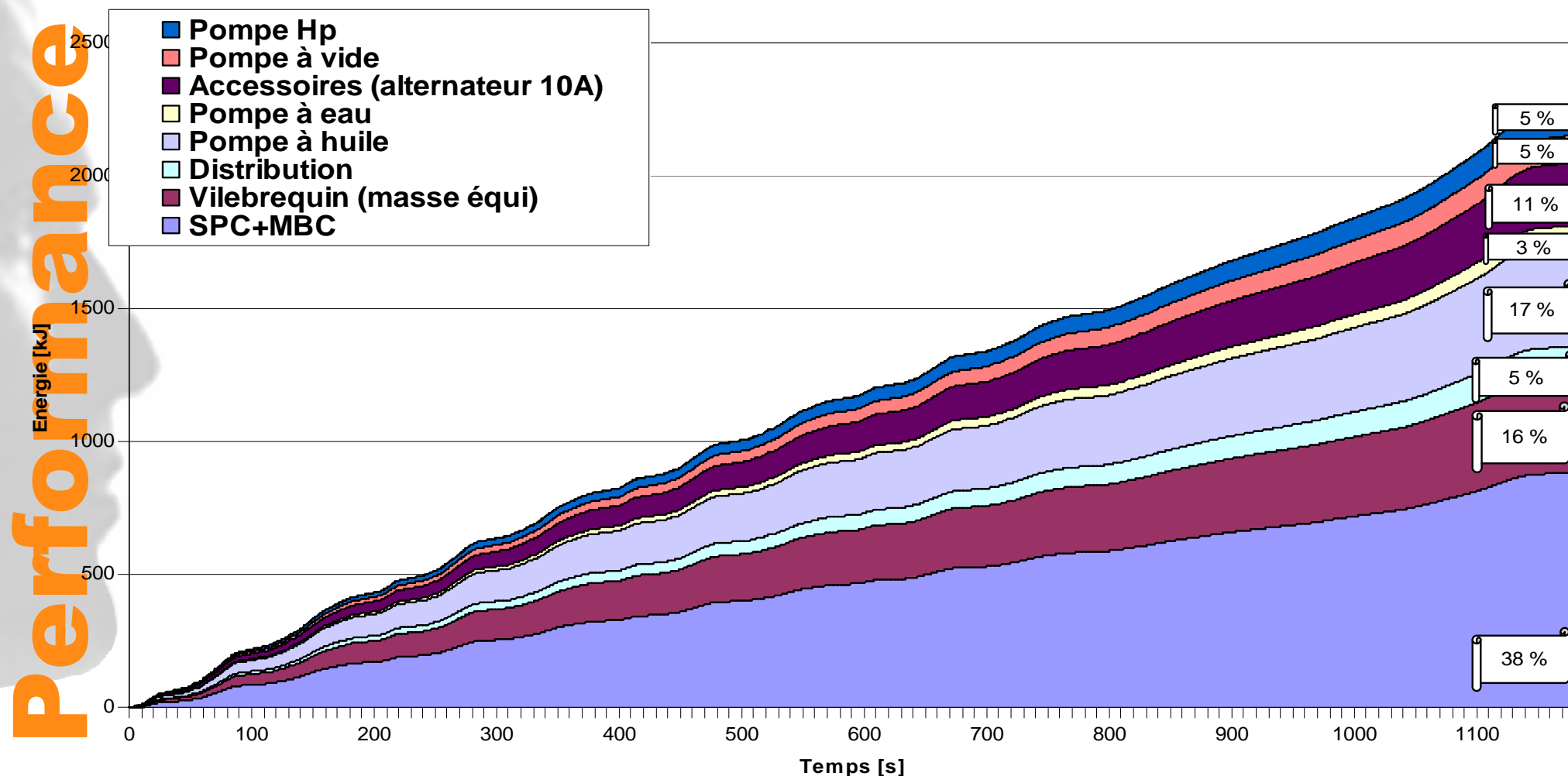


⇒ **Le rendement mécanique représente 25 %**

■ BASIQUES DE LA PERFORMANCE

➤ Répartition de l'énergie dissipée par l'architecture mécanique moteur

Répartition de l'énergie dissipée par l'architecture mécanique sur cycle MVEG



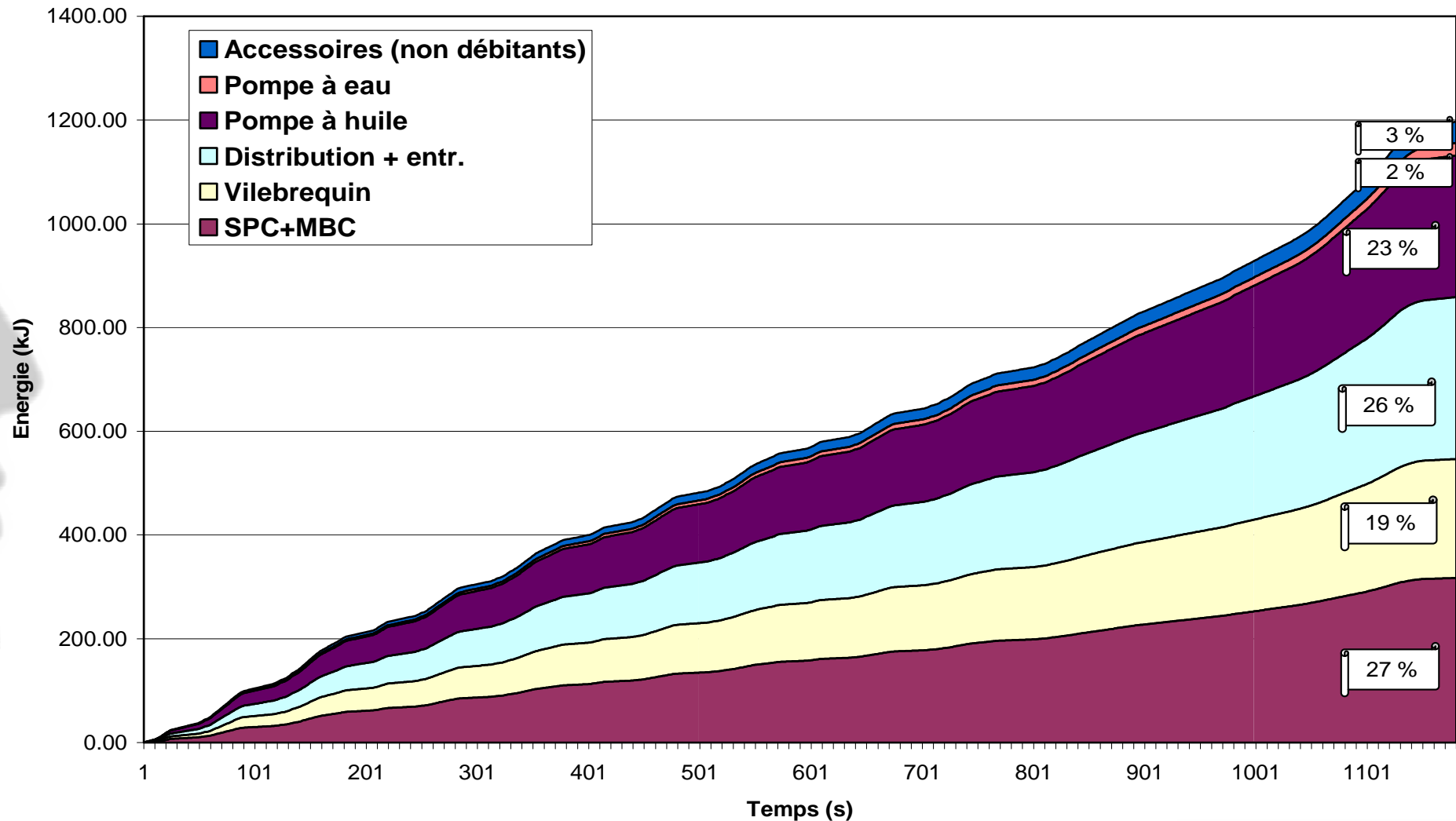
D

⇒ Cette répartition est donnée pour moteur Diesel 1,6 HDI 110

■ BASIQUES DE LA PERFORMANCE

➤ Répartition de l'énergie dissipée par l'architecture mécanique moteur

Répartition de l'énergie dissipée par l'architecture sur cycle MVEG



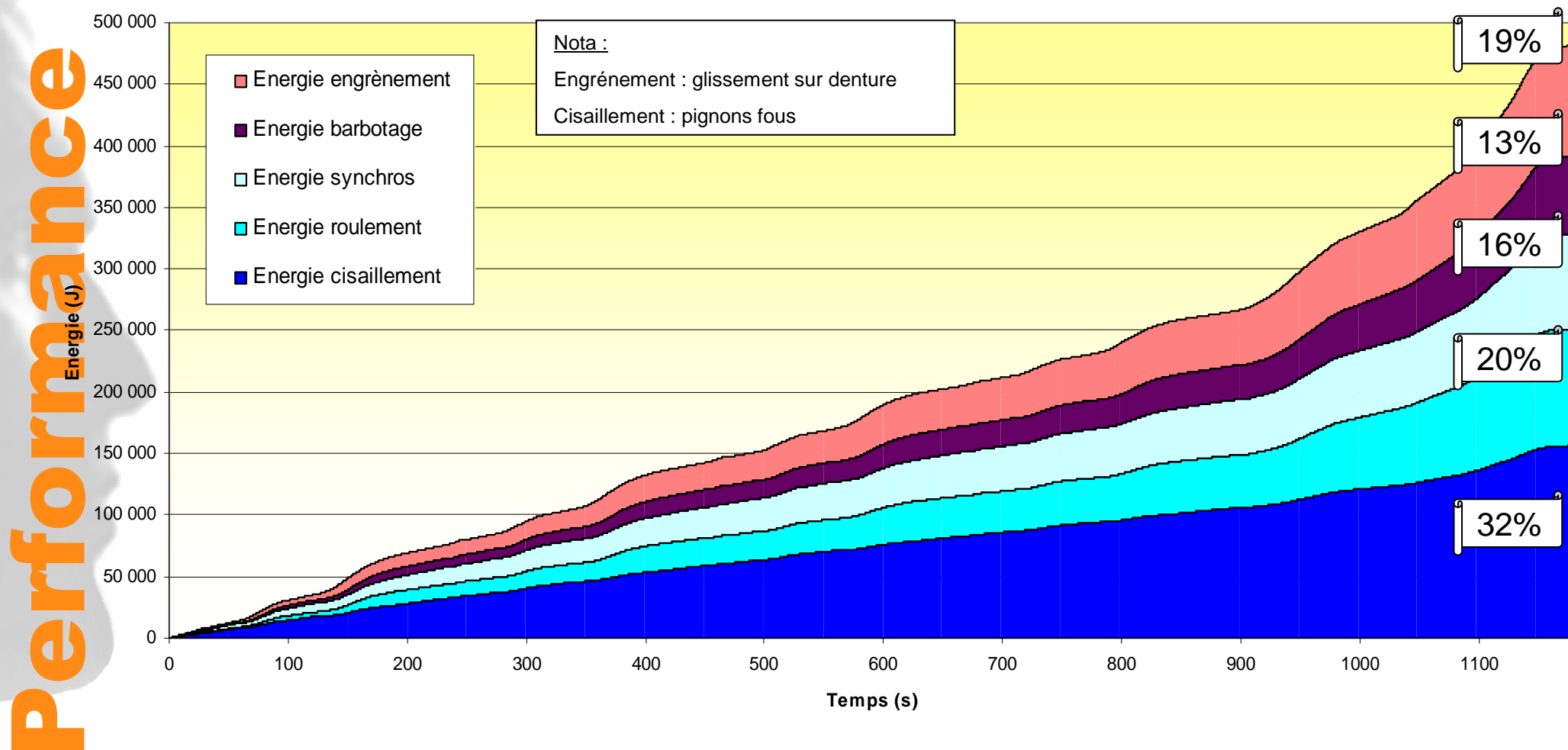
D

⇒ Cette répartition est donnée pour moteur essence

■ BASIQUES DE LA PERFORMANCE

➤ Répartition de l'énergie dissipée par l'architecture mécanique moteur

Energie dissipée par BVM 6 sur cycle MVEG



⇒ Cette répartition est donnée pour C4 Picasso / 1,6 HDI 110 – BVM 6

■ VOIES D'AMÉLIORATIONS TECHNIQUES

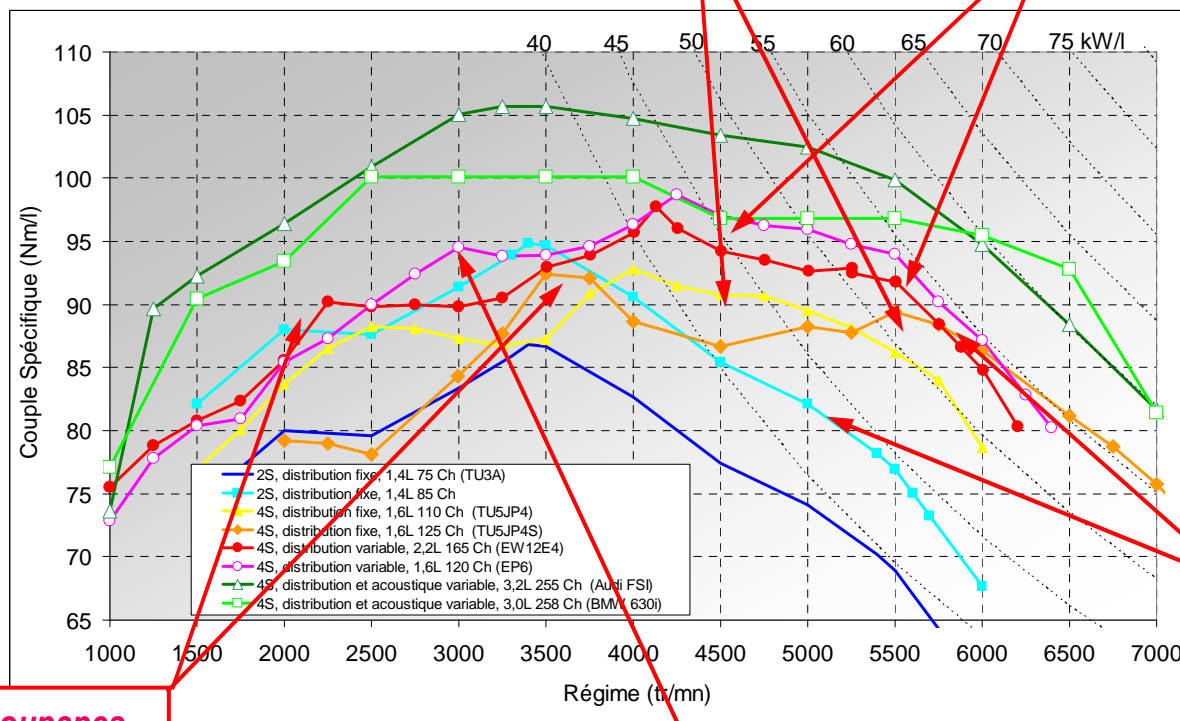
➤ Paramètres d'optimisation

- ❑ Puissance Essence
- ❑ Puissance Diesel
- ❑ Impact augmentations performances sur contraintes dimensionnement
- ❑ Notions d'adaptation GMP
- ❑ Le Downsizing : Les limites
- ❑ Amélioration du rendement mécanique

■ VOIES D'AMELIORATIONS TECHNIQUES

➤ Puissance en essence

□ Remplissage : Exemple moteur atmosphérique



Longueur primaires admission

$\frac{1}{2}$ onde soupapes admission (mode multi cylindres)

$\frac{1}{4}$ d'onde primaires admission (mode monocylindre)

Diamètre et longueur primaires admission

Effet Kadenacy (mode monocylindre)

Typage couple / puissance moteurs à géométrie fixe

Perméabilité lignes d'air et culasse

Effet de saturation 2 soupapes

Distance soupapes admission – filtre à air

$\frac{1}{4}$ d'onde filtre à air

(mode multi cylindres)

Distance soupape à soupape échappement (collecteur 4/1, 3Y, ...)

$\frac{1}{2}$ onde soupapes échappement (mode multi cylindres)

Distance soupapes échappement – silencieux

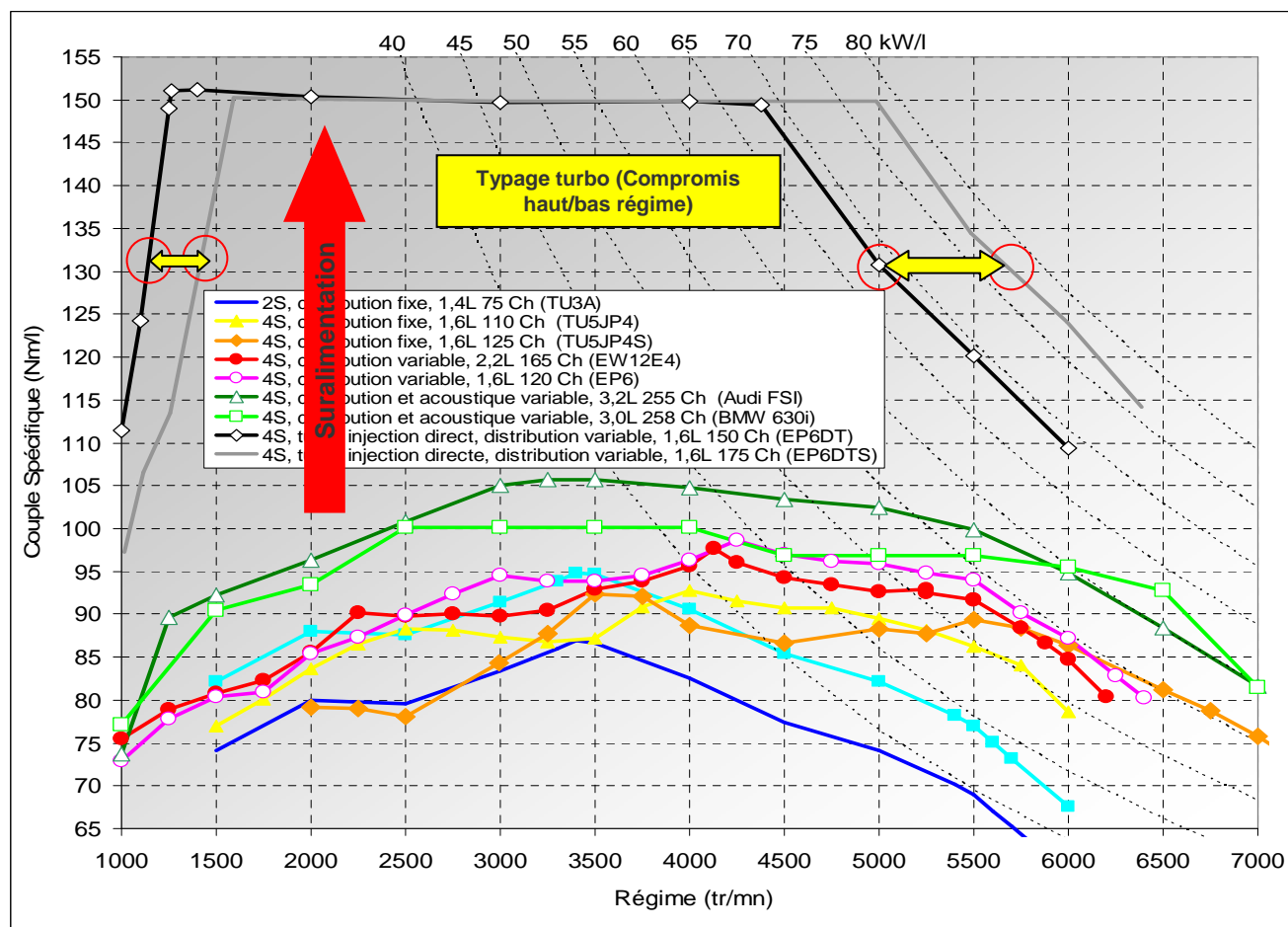
$\frac{1}{4}$ onde soupapes – silencieux (mode multi cylindres)

Performance

■ VOIES D'AMÉLIORATIONS TECHNIQUES

➤ Puissance en essence

□ Remplissage : Exemple moteur suralimenté



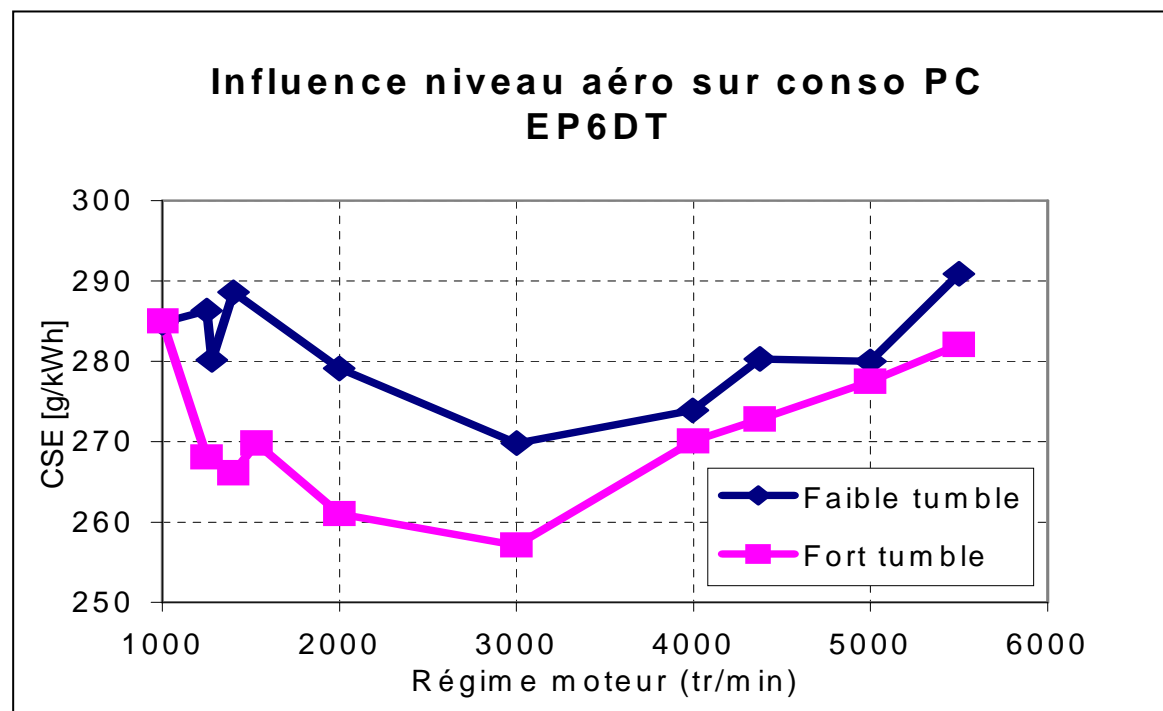
Performance

■ VOIES D'AMÉLIORATIONS TECHNIQUES

➤ Puissance en essence

□ Utilisation de l'air par le cylindre

- Une combustion rapide (fort niveau d'aérodynamique) permet de repousser la limite cliquetis : la combustion normale consomme les gaz frais avant que les réactions d'auto-inflammation dans ces gaz brûlés aient eu le temps de déclencher le cliquetis.
- A charge élevée, les moteurs suralimentés fonctionnent avec des combustions calées très tardivement par rapport aux moteurs atmosphériques. Tout ce qui repousse la limite cliquetis est très bénéfique à la conso PC et à la conso à l'usage.



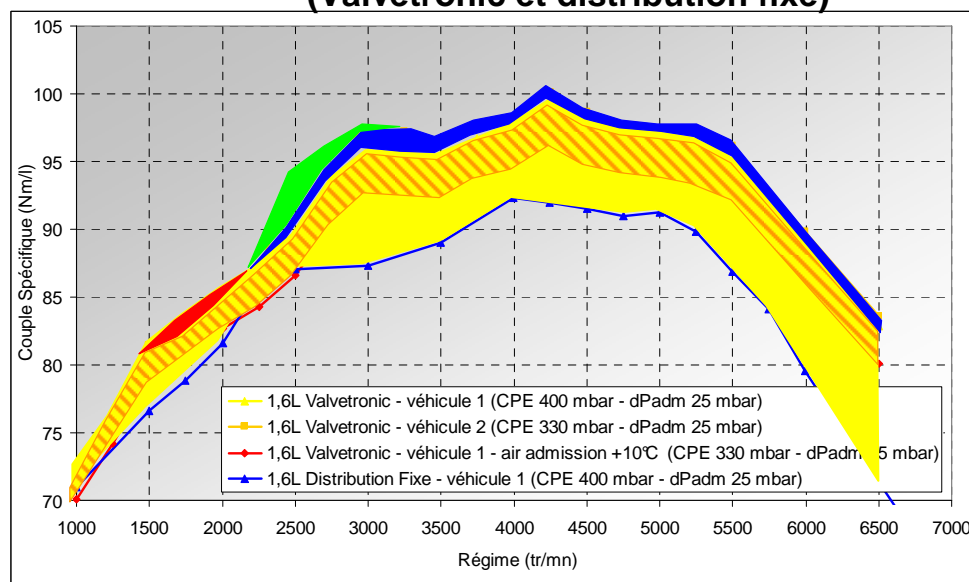
■ VOIES D'AMÉLIORATIONS TECHNIQUES

➤ Puissance en essence

□ Adaptation : Impacte les performances par 2 effets

- les contraintes d'implantation ont un impact sur les pertes de charge (effet perméabilité) et le dimensionnement des lignes (effet acoustique)
- la position du col d'entrée d'air et la thermique sous capot ont un impact sur la température de l'air admis

Exemple d'enjeu sur des moteurs 1,6L atmosphériques
(Valvetronic et distribution fixe)



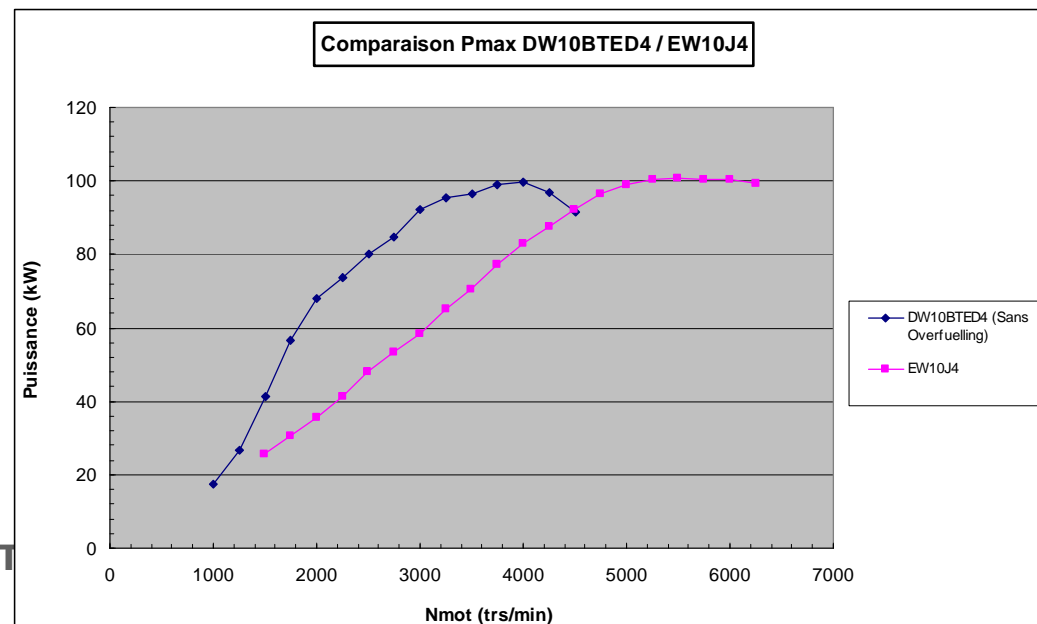
- La contrainte d'adaptation VHL qui a le plus d'impact sur les performances est la T° admission

■ VOIES D'AMÉLIORATIONS TECHNIQUES

➤ Puissance en Diesel

□ Remplissage

- Tenue culasse + besoins aéro (swirl) pour la combustion contraignent la géométrie des conduits dans la culasse et donc la perméabilité (Débit d'air) → Compromis aéro/perméabilité/tenue culasse
- Régime moteur maxi limité par les vitesses de combustion atteignables et les contraintes architecturales de résistance à la masse de l'attelage mobile
- Richesse de fonctionnement maxi en PC hauts régimes $\ll 1$. Elle est limitée par les contraintes températures échappement (+ fumées et vitesse maxi combustion atteignable)
- Suralimentation obligatoire pour viser les mêmes objectifs de P_{max} qu'un moteur essence de même cylindrée → Il n'y a plus de moteurs Diesel atmosphériques

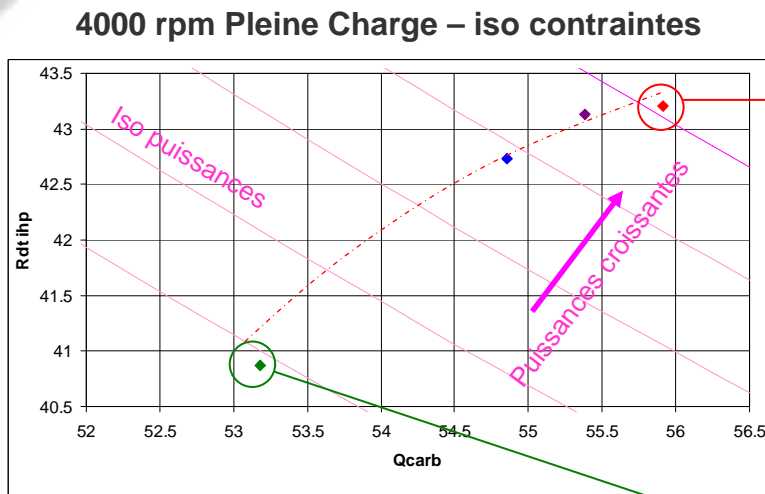


■ VOIES D'AMÉLIORATIONS TECHNIQUES

➤ Puissance en Diesel

□ Utilisation de l'air

- La conception du système de combustion intègre un compromis entre les prestations pleine charge, charge partielle (émissions polluantes, conso, bruit) et le coût du système.
 - Choix de la buse injecteur, Prail maxi accessible
 - Choix du swirl, choix du taux de compression
 - Géométrie générale du système de combustion (position de l'injecteur, ...)
- L'exemple suivant illustre ce compromis entre puissance maximale et émissions polluantes pour le choix de la buse (exemple DW10C)

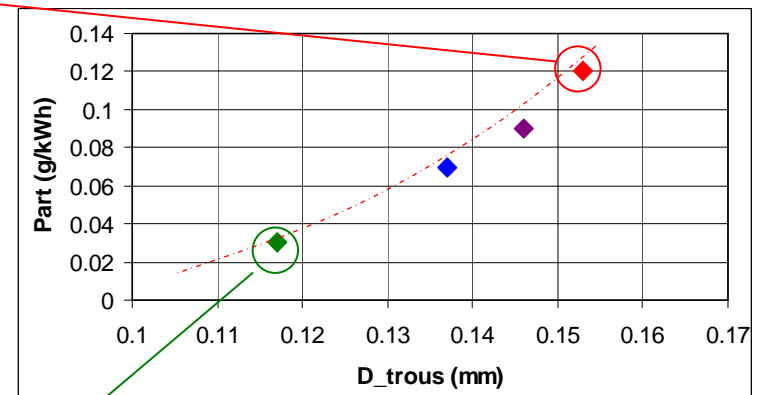


Buse opti perfos

- ◆ 320cc Cd0.75 (1.5 / 12) 8H
- ◆ 400cc Cd0.73 (1.5 / 12) 8H
- ◆ 480cc Cd0.70 (1.5 / 12) 8H
- ◆ 400cc Cd0.73 (1.5 / 12) 7H
- Iso-PMhp

Buse opti charge partielle

Particules = f(diamètre des trous)
Point de fonctionnement 1500 – 6 bar



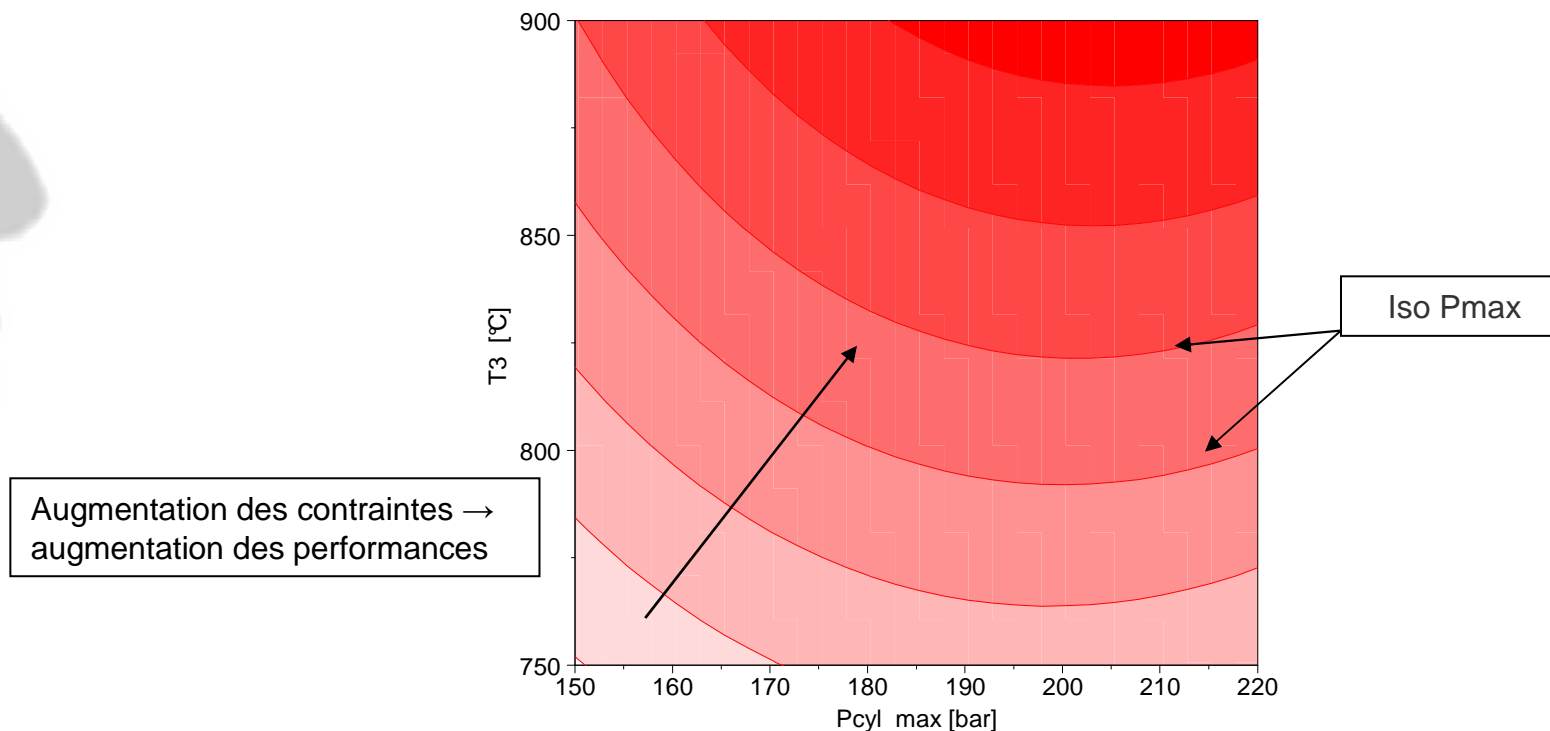
■ VOIES D'AMÉLIORATIONS TECHNIQUES

➤ Puissance en Diesel

□ Contraintes de dimensionnement

- Contraintes bas régime : Fumées, P_{cyl} , pompage compresseur, flux thermiques
- Contraintes haut régime : Techappement, P_{cyl} , régime turbo ou T_{sortie} compresseur, Flux thermiques

Exemple impact P_{cyl} et T_3 @ P_{max}



■ VOIES D'AMÉLIORATIONS TECHNIQUES

➤ Impact augmentations performances sur contraintes dimensionnement

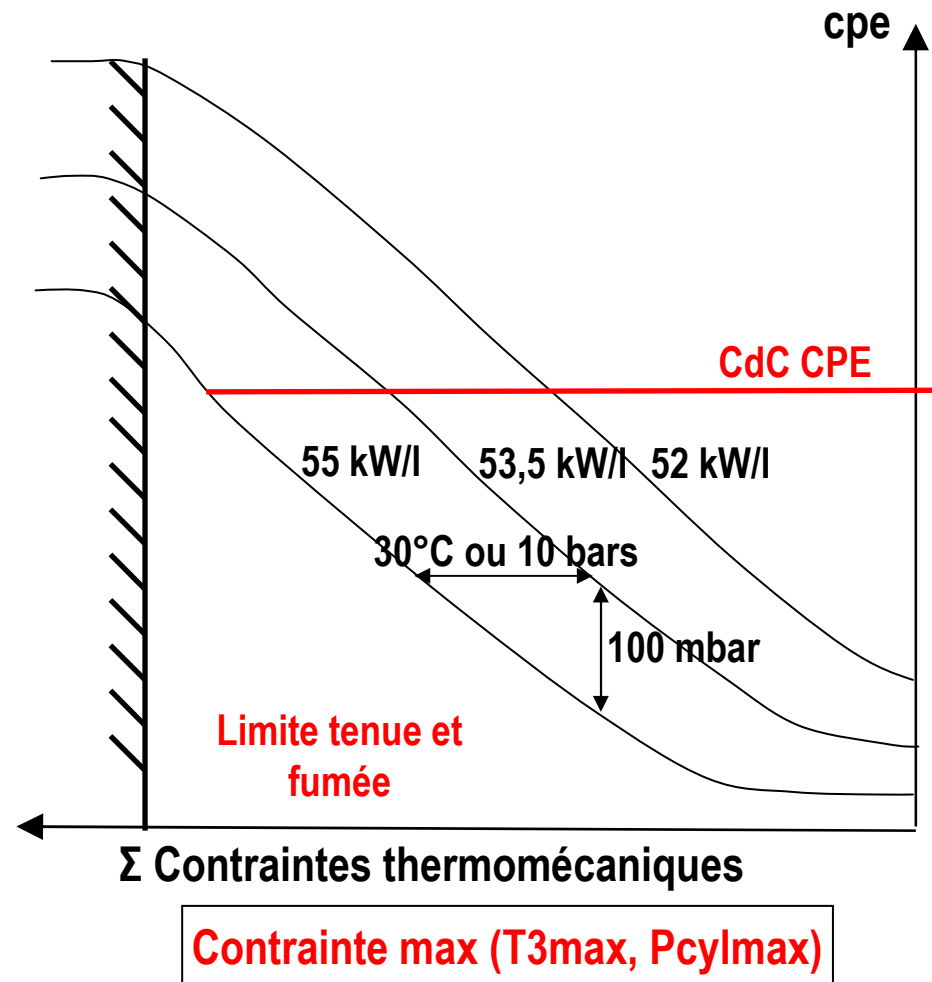
- 3 leviers principaux en architecture mécanique pour répondre aux exigences de performances du moteur :
 - Le matériau et le process
 - L'architecture
 - Les stratégies contrôle moteur (Limitation performances = f(situation de vie))

	T°gaz	Pression cylindre	Flux thermiques
Collecteur échappement, Turbo	➤ Fonte (800°C), Tôle (850°), Acier (900°C) ➤ Refroidissement turbo		
Culasse, piston		➤ Nuance aluminium ➤ Traitement thermique	➤ Nuance aluminium ➤ Traitement thermique ➤ Refroidissement
Carter cylindres		➤ Fonte, aluminium ➤ Traitement thermique ➤ Longueur moteur (largeur palier)	➤ Fonte, aluminium ➤ Traitement thermique ➤ Refroidissement ➤ Longueur moteur (épaisseur interfût)
Attelage mobile		➤ VBQ Fonte, acier ➤ Longueur moteur (épaisseur bras)	
Soupapes échappement	➤ Bimétallique, Nimonic,... ➤ Refroidissement sodium,		

■ VOIES D'AMÉLIORATIONS TECHNIQUES

➤ Notions d'adaptation GMP

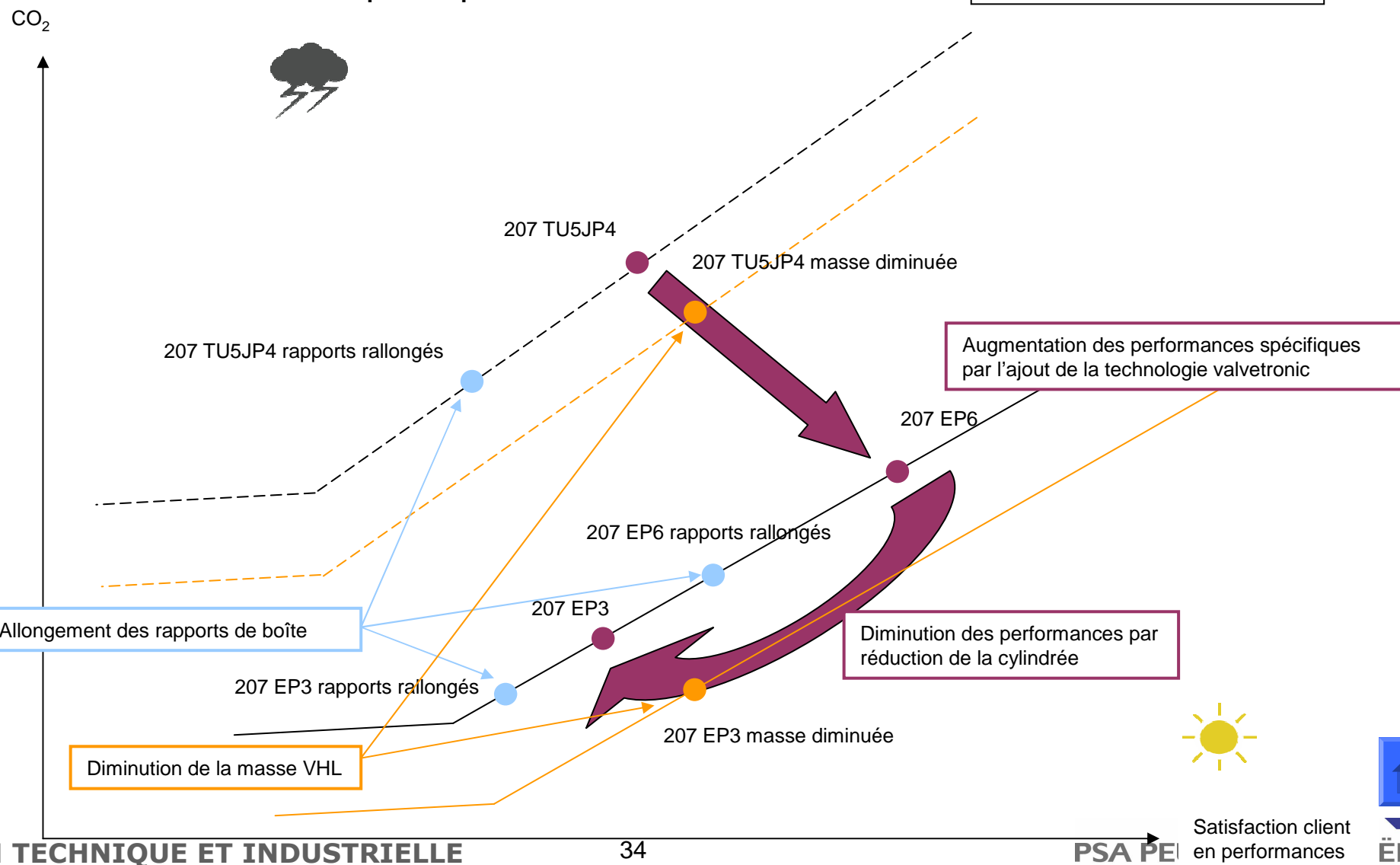
- Influence contre pression échappement (CPE) (Exemple turbo Diesel)



■ VOIES D'AMELIORATIONS TECHNIQUES

➤ Le Downsizing : Les limites

□ Essence atmosphérique



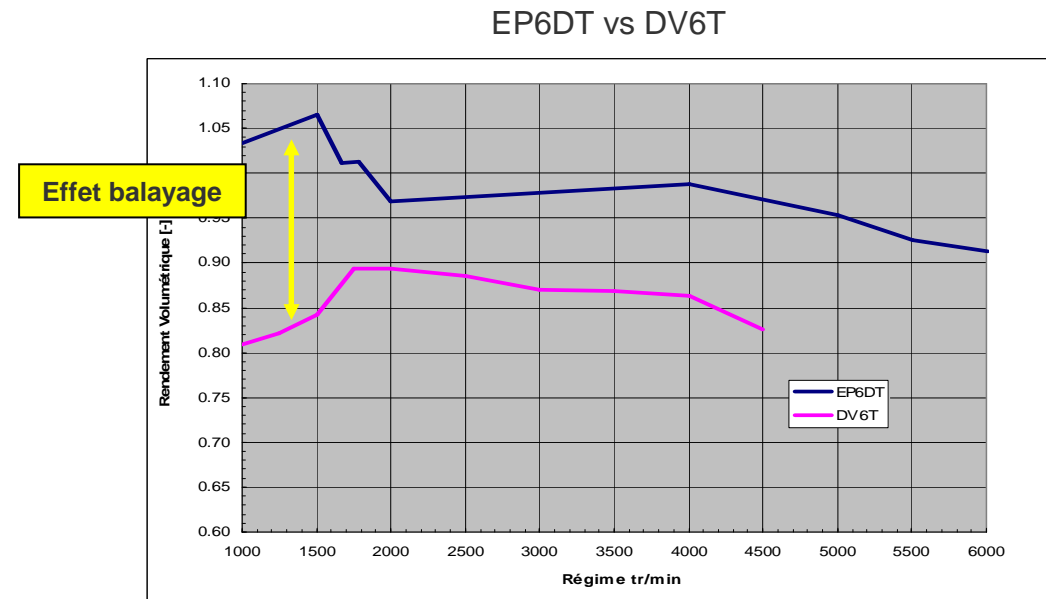
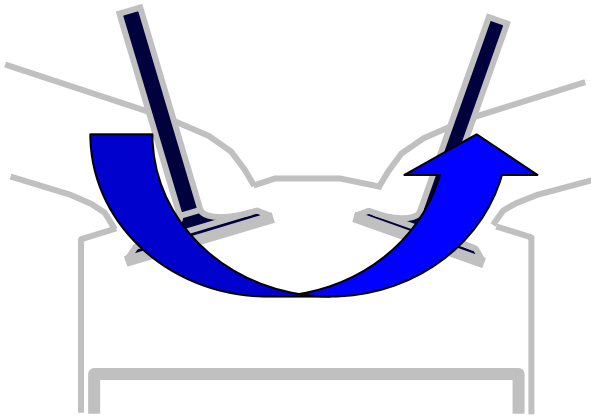
Performance

■ VOIES D'AMÉLIORATIONS TECHNIQUES

➤ Le Downsizing : Les limites

□ Essence suralimenté

- Potentiel bas régimes important en Turbo IDE (effet balayage)
 - Effet balayage : Lorsque la pression admission > échappement, les gaz frais passent directement de l'admission vers l'échappement, entraînant ainsi les imbrûlés au passage : Effet bénéfique sur le rendement volumétrique ainsi que sur la masse d'air frais enfermée dans le cylindre, donc sur le couple moteur

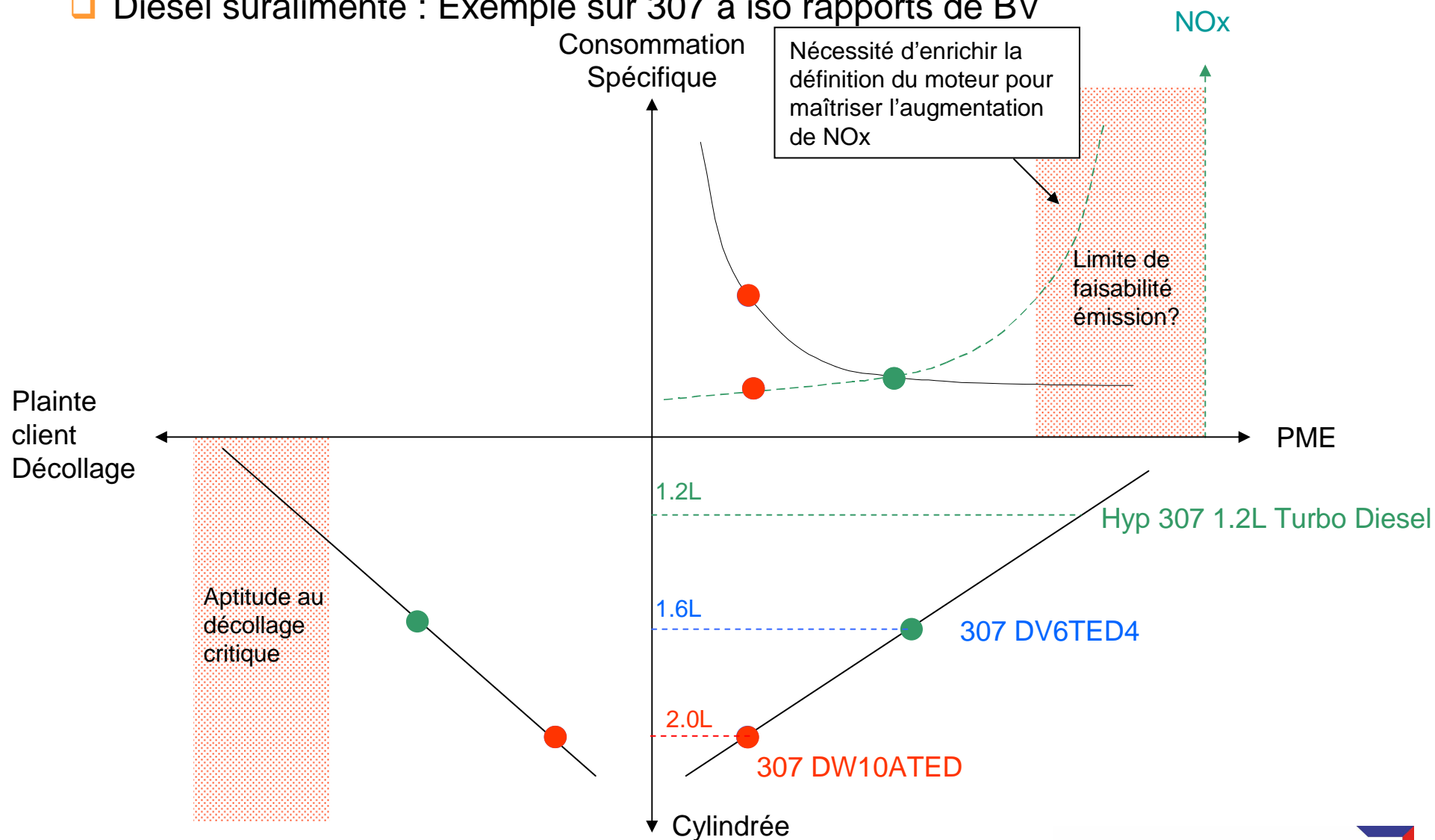


- Limite du potentiel d'augmentation des performances à explorer (problématique "rumble")

■ VOIES D'AMÉLIORATIONS TECHNIQUES

➤ Le Downsizing : Les limites

- Diesel suralimenté : Exemple sur 307 à iso rapports de BV



■ VOIES D'AMÉLIORATIONS TECHNIQUES

➤ Amélioration du rendement mécanique

□ les axes prioritaires à traiter sont :

■ Axe fonctionnel :

- o Recherche des besoins fonctionnels minimum pour optimiser les points de fonctionnement,
- o Optimisation des couplages thermo-hydrauliques (eau, huile, carburant) par la matière (échanges thermiques).

■ Axe organique :

- Optimisation des composants constituant les postes majeurs de consommation (pompe à huile, attelage mobile) sur les points de fonctionnement donnés,

■ VOIES D'AMÉLIORATIONS TECHNIQUES

➤ Amélioration du rendement mécanique

➤ Les choix d'architecture :

- ❑ Etagement BV grande ouverture,
- ❑ Moteur 3 vs 4 cylindres, 2 vs 3 cylindres,
- ❑ 1 AAC,
- ❑ Désaxage vilebrequin,
- ❑ Entraînement de distribution,
- ❑ Evolutions des paliers BVM (roulement, palier lisse),
- ❑ Synchro simple cône,
- ❑ Linguets à rouleaux hydrauliques,

➤ Gestion hydraulique des fluides :

- ❑ Circuit de lubrification et huile :
 - Huile moteur basse viscosité,
 - Pompe à huile à cylindrée pilotée,
 - Optimisation Lubrification BV (traitement barbotage)
 - Huile BV Fuel Eco,

❑ Thermomanagement :

- Thermostat piloté,
- Split-cooling,
- Split-cooling + thermostat piloté,
- Gestion Hydraulique des débits externes
- Pompe à eau débrayable,
- Echangeur eau/huile
- Gicleurs fond de piston pilotés

❑ Circuit carburant,

➤ Géométrie / état de surface / tribologie

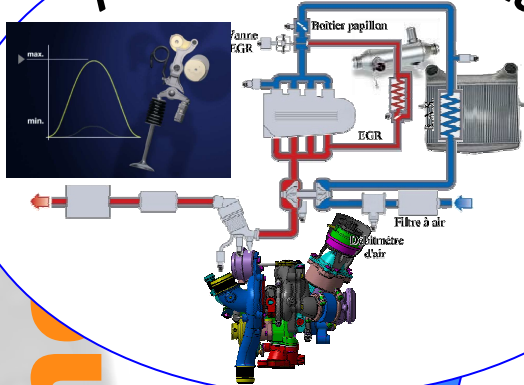
- ❑ Jupe de piston revêtue,
- ❑ Rodage cylindres sous contrainte,
- ❑ Revêtement sur segments, axe piston,
- ❑ Revêtement sur poussoirs mécaniques,

➤ Dimensionnement et allègement des pièces mobiles :

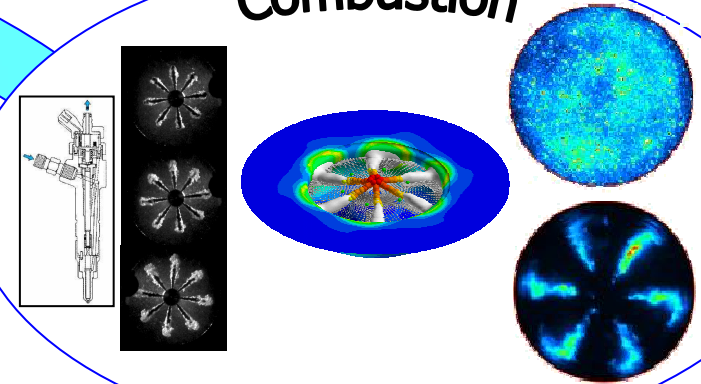
- ❑ Attelage mobile : jupe, vilebrequin,
- ❑ Diminution diamètre tige soupape
- ❑ Tri (jeux) des composants (démonstrateur)

■ VOIES D'AMÉLIORATIONS TECHNIQUES

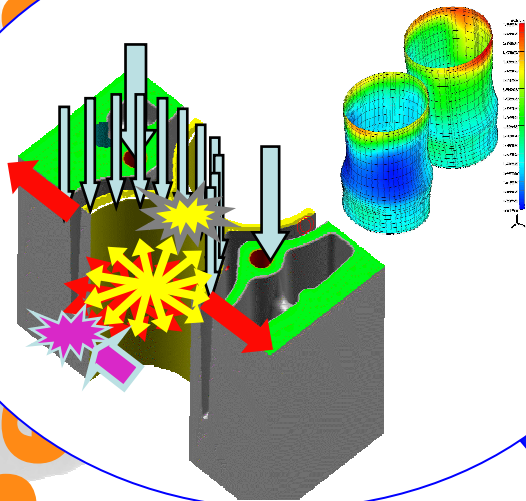
Air loop management



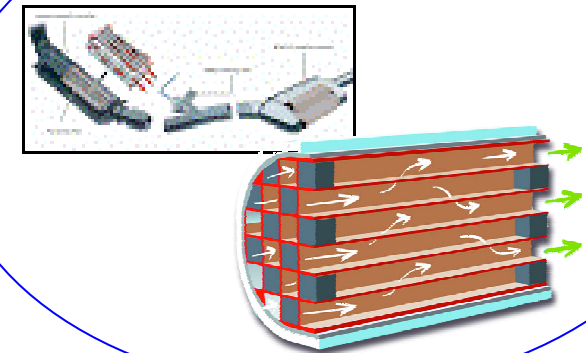
Combustion



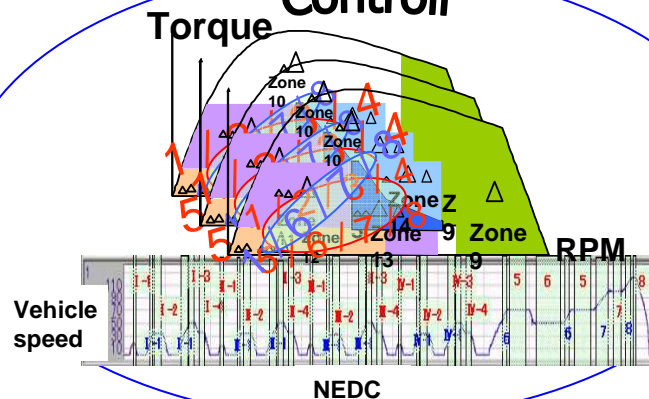
Architecture



After treatment



Control



■ CONCLUSIONS

- L'augmentation des performances spécifiques est un levier important pour réduire les émissions de CO₂
 - ⚡ Rapport coût / efficacité
- Le couple instantané bas régime est un paramètre client clé (d'autant plus que le véhicule est lourd)
- Forte importance de l'adaptation (T° sous capot, T° à l'entrée moteur, géométrie lignes admission et échappement)
- Opportunités architecture à mettre en œuvre tant sur le plan du downsizing que sur celui de l'amélioration du rendement mécanique