

# BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR

## MOTEURS A COMBUSTION INTERNE

SESSION 2003

### ETUDE DES MOTEURS

U 52 Etude et analyse des moteurs

Durée: 3 h - Coefficient : 3

*AUCUN DOCUMENT AUTRE QUE LE SUJET N'EST AUTORISE.  
L'USAGE DE LA CALCULATRICE EST AUTORISE.*

CODE EPREUVE : MOE5EAM		EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR	SPECIALITE : MOTEURS A COMBUSTION INTERNE	
SESSION 2003	SUJET	EPREUVE : ETUDE DES MOTEURS PARTIE ETUDE ET ANALYSE DES MOTEURS – U52		
Durée : 3h00	Coefficient : 3		Code sujet : 19NB03	Page : 0/5

# 0. Présentation du sujet : système « common - rail »

- On assiste depuis quelques années à l'apparition de nouvelles générations de moteurs Diesel à injection directe, alimentés en carburant par des systèmes d'injection de plus en plus performants : injecteurs pompes, systèmes « common-rail »...
- On vous propose dans ce sujet d'analyser le fonctionnement et le comportement d'un système « common-rail » .
- Le sujet se compose :
  - ☞ **du texte** : 5 pages numérotées de 1/5 à 5/5,
  - ☞ **d'un dossier technique** : 9 pages numérotées de 1/9 à 9/9.
  - ☞ **D'un document réponse 1/1 à rendre obligatoirement.**

• On exige de rédiger convenablement les différents raisonnements et explications.

• Temps conseillés : ⇨⇨⇨⇨⇨⇨⇨⇨⇨⇨⇨⇨⇨⇨⇨⇨⇨⇨⇨⇨⇨⇨⇨⇨⇨⇨

	Temps conseillé
Lecture globale du sujet	10'
Partie 1	40'
Partie 2	1 h 20'
Partie 3	50'

### • Données et notations

$P_{\text{rail}}$	Pression dans le rail (bar)	1350	$\Delta V$	Variation de volume (cm <sup>3</sup> )	
$P_H$	Puissance hydraulique (Watt)		$P_M$	Puissance mécanique (Watt)	
$n$	Nombre de cylindres de la pompe	3	$k$	Rapport de transmission pompe / vilebrequin	0,5
$V_p$	Cylindrée pompe HP (cm <sup>3</sup> .tr <sup>-1</sup> )	0,65	$n_p, n_v$	Vitesses de rotation respectivement de la pompe et du vilebrequin (tr.s <sup>-1</sup> )	
$\chi_T$	Module de compressibilité isotherme ( <u>bar<sup>-1</sup></u> )	$\frac{1}{1,53 \cdot 10^4}$ à 160 bar $\frac{1}{2,7 \cdot 10^4}$ à 1350 bar	$V_t$	Volume total (rail + tubes HP) (cm <sup>3</sup> )	?
$\eta_{vp}$	Rendement volumétrique de la pompe	0,95	$V_T$	Cylindrée moteur (dm <sup>3</sup> )	2
$\eta_{mp}$	Rendement mécanique de la pompe	Voir graphique 3 page 4 / 9	$\Delta P$	Différence de pression « aux bornes » de la pompe HP	
$n_p, n_v$	Nombre de tours pompe, et vilebrequin (tr)		$T_c$	Durée de commande de l'actuateur de pression rail (ms)	
$\bar{I}$	Courant moyen (A)		$T$	Période du signal de commande du régulateur de pression rail (ms)	1
$\bar{U}$	Tension moyenne (V)		$R$	résistance de l'actuateur de pression rail (Ω)	2,3
$F_{\text{mag}}$	Force électromagnétique (N)		$T_0$	« temps mort » de l'injecteur	
$T_{\text{inj}}$	Durée de l'impulsion de commande des injecteurs (μs)		$\lambda$	Constante de débit des injecteurs	
$G$	Gain de l'injecteur pour une iso - pression rail (partie linéaire) en mm <sup>3</sup> .μs <sup>-1</sup>		$V_{\text{inj}}$	Volume injecté par coup (mm <sup>3</sup> .coup <sup>-1</sup> )	

CODE EPREUVE : MOE5EAM.		EXAMEN : BTS		SPECIALITE : Moteurs à Combustion Interne	
SESSION 2003	SUJET		EPREUVE : U2 étude et analyse des moteurs		
Durée : 3 h	Coefficient : 3		Code sujet : A9NB03		Page 1 sur 5

## 1. Première partie : analyse système

- ☞ **objet de cette partie** : analyser les performances et les caractéristiques d'un système « common - rail » au niveau de la combustion.
- ☞ **Documents de travail** : « graphique 1 » et « graphique 2 » page 1/9 ; « figure 5 » page 6/9.

### 11 ANALYSE DE COMBUSTION

- A partir des documents « graphique 1 » et « graphique 2 » page 1/9 :

#### 1.1.1. donner la définition des 4 paramètres suivants :

- ✓ gradient de pression | ✓ CA 50
- ✓ délai d'inflammation | ✓ HLC ;

#### 1.1.2. évaluer graphiquement les valeurs : compléter le tableau 1 du document réponse 1/1

- ✓ avance à l'injection (pilote et principale) ;
- ✓ gradient de pression maxi en phase de combustion en prémélange (ou combustion incontrôlée : dans la zone indiquée sur le graphique) ;
- ✓ les délais d'inflammation pour l'injection unique (cas sans pilote) et pour les injections pilote et principale (cas avec pilote) ;
- ✓ le HLC et le CA 50 pour les deux cas (avec et sans pilote) ;
- ✓ la vitesse maximale de dégagement d'énergie en phase de prémélange (ou combustion incontrôlée).

#### 1.1.3. A partir des résultats précédents, justifier en 5 lignes l'intérêt de l'injection pilote.

### 12 « DEGRES DE LIBERTE » DU SYSTEME COMMON RAIL

- En vous aidant de la « figure 5 » page 6/9 :

#### 1.2.1. quels sont les paramètres fonctionnels (variables de sortie du système), ou « degrés de liberté » disponibles sur ce système d'injection pour optimiser le fonctionnement du moteur (performance, rendement et pollution) :

- ✓ du point de vue quantité injectée ?
- ✓ du point de vue « phasage » ?

#### 1.2.2. Exprimer la relation simple existant entre le volume de l'injection principale, le volume de consigne et le volume de l'injection pilote ;

#### 1.2.3. exprimer sous forme d'équation(s) simple(s) le volume de consigne $V_{\text{consigne}}$ en fonction des diverses variables logicielles définies sur la « figure 5 » page 6/9 . (Exemple de formalisme pour des grandeurs quelconques : $V = \text{mini}(V1, V2) * K + V3$ ).

CODE EPREUVE : NOE5EAM.		EXAMEN : BTS	SPECIALITE : Moteurs à Combustion Interne	
SESSION 2003	SUJET	EPREUVE : U52 étude et analyse des moteurs		
Durée : 3 h	Coefficient : 3		Code sujet : A9NB03	Page 2 sur 5

## 2. Deuxième partie : analyse du circuit hydraulique

☞ **Objet de cette partie** : il s'agit de calculer les pertes mécaniques engendrées par la pompe HP, puis d'analyser le fonctionnement du régulateur d'un point de vue électrique (signal de commande), et enfin de déterminer par calcul le volume du rail à utiliser.

Se référer aux notations du tableau de la page 1/5 pour les calculs et formules littérales et les applications numériques

### 21 ETUDE MECANIQUE

☞ **Documents de travail** : « graphique 3 » page 4/9;

☞ **Données** : pression Prail = 1350 bars , rendement volumétrique = 0,95

2.1.1. calculer la puissance hydraulique *maximale*  $P_H$  développée par la pompe HP ;

2.1.2. en déduire la puissance mécanique *maximale*  $P_M$  absorbée par la pompe HP ;

2.1.3. calculer alors la part de « PMF » due à la pompe.

### 22 ETUDE DU REGULATEUR DE PRESSION :

☞ **Documents de travail** : « figure 2 » page 2/9, « figure 4 » page 4/9; « graphique 4 » page 4/9 ;

☞ **données** : l'intensité de la force magnétique est de la forme :  $F_{mag} = k \cdot \bar{I}^2$ , et le courant moyen  $\bar{I}$  est obtenu par un signal de commande de type « RCO » ou hacheur. Pour un signal périodique comme le courant de commande du régulateur, on montre que :  $\bar{U} = R \bar{I}$ .

2.2.1. Montrer que  $\bar{U}$  est proportionnelle au temps de commande  $T_c$ ,

2.2.2. calculer, pour les conditions du « graphique 4 » :

- ✓ le RCO (rapport cyclique d'ouverture),
- ✓ la valeur du courant moyen.

Rappel : la résistance de l'actuateur est :  $R = 2,3 \Omega$

CODE EPREUVE : 110E5EA7		EXAMEN : BTS	SPECIALITE : Moteurs à Combustion Interne
SESSION 2003	SUJET	EPREUVE : U52 étude et analyse des moteurs	
Durée : 3 h	Coefficient : 3	Code sujet : 19NB03	Page 3 sur 5

## 23 DETERMINATION DU VOLUME DU RAIL

☞ Documents de travail : « graphique 5 » page 5/9;

☞ Cahier des charges :

- ✓ Contrainte n° 1 : Rapidité de la montée en pression : lors d'un démarrage la pression minimale de **160 bar** doit être atteinte en un nombre de tours moteur **inférieur ou égal à 1,5** (le calculateur interdit l'injection tant que  $P_{\text{rail}} < 160 \text{ bar}$ );
- ✓ Contrainte n° 2 : Variation de pression sous injection : lors d'une injection de carburant de  $50 \text{ mm}^3$ , la pression ne doit pas diminuer de plus de **5%** de la valeur de consigne (**1350 bar**).

☞ Hypothèses de calcul :

- ✓ On considère que le fluide subit une transformation isotherme (lors de la mise en pression et lors de l'injection). On rappelle la loi générale d'une telle transformation :  $\Delta P = -\frac{1}{\chi_T} \cdot \frac{\Delta V}{V}$ .
- ✓ On considère que le rail et les tubes sont parfaitement rigides;
- ✓ on prendra un rendement volumétrique de pompe = 1;
- ✓ on ne calculera que le volume global « rail + tuyauteries HP », qu'on appelle simplement « volume rail ».
- ✓ Les transformations envisagées se ramènent à de simples variations de volume (transformation en vase clos sans transfert de matière) : diminution de volume à la mise en pression et augmentation de volume lors d'une injection (voir le graphique 5 page 5/9).

2.3.1. Calculer la variation de volume  $\Delta V_1$  correspondant à la contrainte n°1 (phase de mise en pression du rail).

2.3.2. En fonction des hypothèses et des données, déterminer le volume du rail  $V_1$  pour la contrainte du cahier des charges n°1; donner la formule littérale et l'application numérique.

2.3.3. De la même façon que précédemment, déterminer le volume du rail  $V_2$  pour la contrainte du cahier des charges n° 2 ; donner la formule littérale et l'application numérique.

2.3.4. En déduire la « plage » de volume possible pour le volume rail.

L'expérience montre que le constructeur privilégie la rapidité de montée en pression ; quelle sera alors la valeur à choisir pour le volume rail ?

CODE EPREUVE : MOE5EAN	EXAMEN : BTS	SPECIALITE : Moteurs à Combustion Interne
SESSION 2003	SUJET	EPREUVE : U52 étude et analyse des moteurs
Durée : 3 h	Coefficient : 3	Code sujet : 19NB03 Page 4 sur 5

### 3. Analyse fonctionnelle des électro-injecteurs

☞ **Objet de cette partie** : il s'agit d'analyser de façon « temporelle » puis « débitométrique » le comportement d'un injecteur.

#### 31 ETUDE « TEMPORELLE »

☞ **Documents de travail** : « graphique 6 » page 7/9; « figure 3 » page 3/9 ; « graphique 7 » et « graphique 8 » page 8/9.

3.1.1. Déterminer sur les graphes les valeurs : compléter le tableau 2 du document réponse 1/1

- de la durée de l'impulsion de commande,
  - de la durée de l'injection effective (débit effectif),
  - du délai à l'ouverture,
  - du délai à la fermeture,
  - du volume injecté (valeur approchée) ; préciser la méthode adoptée.
- (Du débit réel par rapport au début et à la fin de l'impulsion de commande)

3.1.2. sur les « graphique 7 » et « graphique 8 », déterminer les délais à l'ouverture et à la fermeture (du débit effectif par rapport au début et à la fin de l'impulsion de commande); compléter le tableau 3 du document réponse 1/1

#### 32 ETUDE DU DEBIT

☞ **Documents de travail** : « graphique 9 » page 9/9;

☞ **données** : cartographie de débit : sur chaque « iso-pression rail » on remarque 2 zones distinctes : une première partie non linéaire, puis une deuxième partie assimilable à un segment de droite. Pour la suite des questions, on ne s'intéresse qu'à la partie linéaire.

3.2.1. Par simple analyse graphique (« graphique 9 ») : compléter le tableau 4 du document réponse 1/1

- ✓ Déterminer l'offset (décalage à l'origine) de temps  $T_0$  pour chaque pression rail (zones linéaires)
- ✓ Déterminer la pente ou débit statique pour chaque pression rail (zones linéaires);
- ✓ En déduire l'équation de débit  $V_{inj} = f(T_{inj}, T_0)$  pour chaque pression rail (zones linéaires).

3.2.2. A partir des résultats précédents et de l'analyse « temporelle » (questions 3.1.1. , 3.1.2 et 3.2.2), justifier en 5 lignes maximum le comportement de l'injecteur : valeur et signe de l'offset  $T_0$  en fonction de  $P_{rail}$  et pente des droites);

3.2.3. en comparant les trois volumes injectés (3 pressions rail : 200, 700 et 1350 bar) pour une même durée théorique de commande de 1500  $\mu s$ , montrer que le modèle simplifié de débit en zone linéaire  $V_{inj} = \lambda \cdot \sqrt{P_{rail}} (T_{inj} - T_0)$  est acceptable.

CODE EPREUVE : 10E5EA7		EXAMEN : BTS	SPECIALITE : Moteurs à Combustion Interne	
SESSION 2003	SUJET	EPREUVE : U52 étude et analyse des moteurs		
Durée : 3 h	Coefficient : 3	Code sujet : 19NB03	Page 5 sur 5	