

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 »

- **Données et notations**

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

P_{rail}	Pression dans le rail (bar)	1350	ΔV	Variation de volume (cm^3)	
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 ($\text{cm}^3 \cdot \text{tr}^{-1}$)	0,65	n_p, n_v	Vitesses de rotation respectivement de la pompe et du vilebrequin ($\text{tr} \cdot \text{s}^{-1}$)	
χ_T	Module de compressibilité isotherme (bar^{-1})	$\frac{1}{1,53 \cdot 10^4}$ à 160 bar $\frac{1}{2,7 \cdot 10^4}$ à 1350 bar	V_t	Volume total (rail + tubes HP) (cm^3)	?
η_{vp}	Rendement volumétrique de la pompe	0,95	V_T	Cylindrée moteur (dm^3)	2
η_{mp}	Rendement mécanique de la pompe	Voir graphique 3 page 4 / 9	ΔP	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_{mag}	Force électromagnétique (N)		T_O	« temps mort » de l'injecteur	
T_{inj}	Durée de l'impulsion de commande des injecteurs (μs)		λ	Constante de débit des injecteurs	
G	Gain de l'injecteur pour une iso - pression rail (partie linéaire) en $\text{mm}^3 \cdot \mu\text{s}^{-1}$		V_{inj}	Volume injecté par coup ($\text{mm}^3 \cdot \text{coup}^{-1}$)	

CODE EPREUVE : MOE5EAM.		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 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_{consigne} en fonction des diverses variables logicielles définies sur la « figure 5 » page 6/9 . (Exemple de formalisme pour des grandeurs quelconques : $V = \min(V1, V2) * K + V3$).

CODE EPREUVE : 110E5EAT.		EXAMEN : BTS	SPECIALITE : Moteurs à Combustion Interne	
SESSION 2003	SUJET	EPREUVE :U52 étude et analyse des moteurs		
Durée : 3 h	Coefficient : 3		Code sujet : 110E5EAT.	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 $P_{\text{rail}} = 1350$ 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 : $F_{\text{mag}} = k \cdot \bar{I}^2$, 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 : 110E5EAT		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 mm³**, 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 ΔV_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 : MOE5EAT		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 « débitmétrique » 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 débit réel par rapport au début et à la fin de l'impulsion de commande)
- du délai à la fermeture,
- du volume injecté (valeur approchée) ; préciser la méthode adoptée.

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 μs , 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 : 70E5E97		EXAMEN : BTS	SPECIALITE : Moteurs à Combustion Interne	
SESSION 2003	SUJET	EPREUVE :U52 étude et analyse des moteurs		
Durée : 3 h	Coefficient : 3		Code sujet : 79NB03	Page 5 sur 5

BTS - MOTEURS A COMBUSTION INTERNE

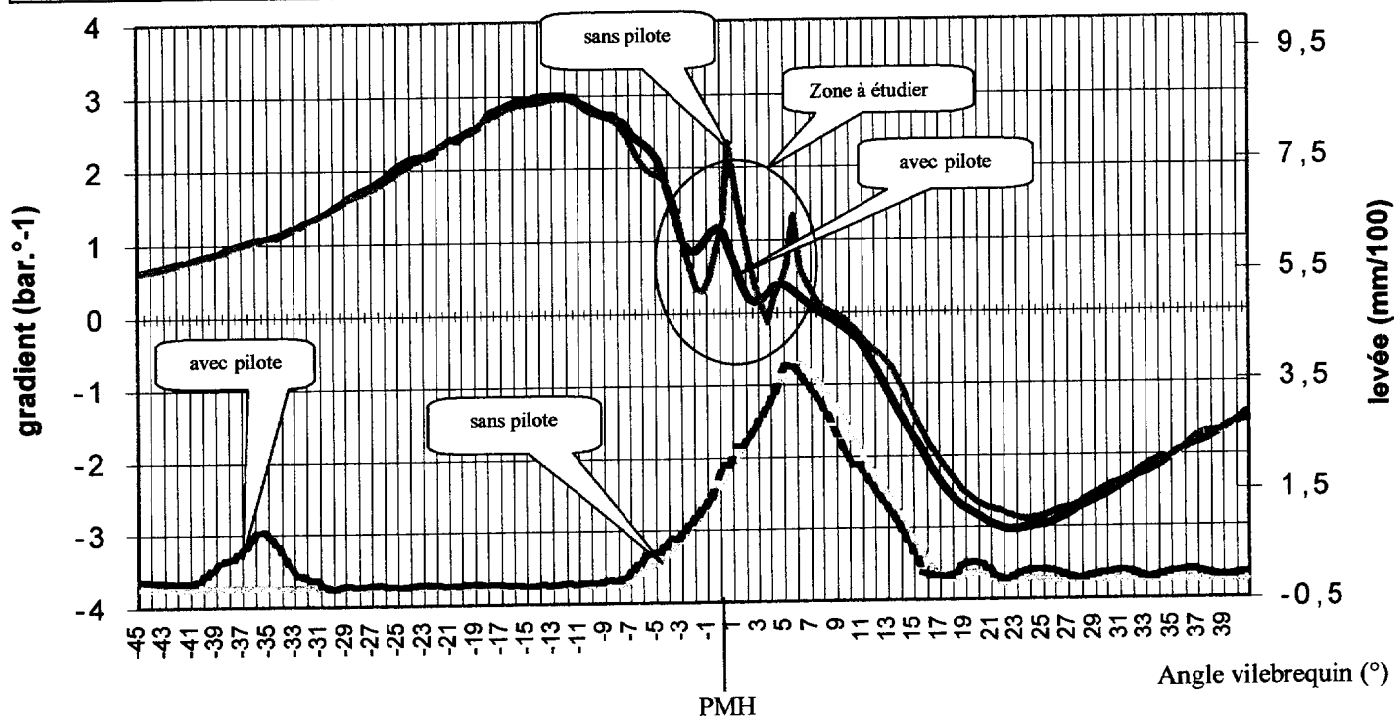
EPREUVE – U52 : ETUDE ET ANALYSE DES MOTEURS

DOSSIER TECHNIQUE

1. analyse combustion

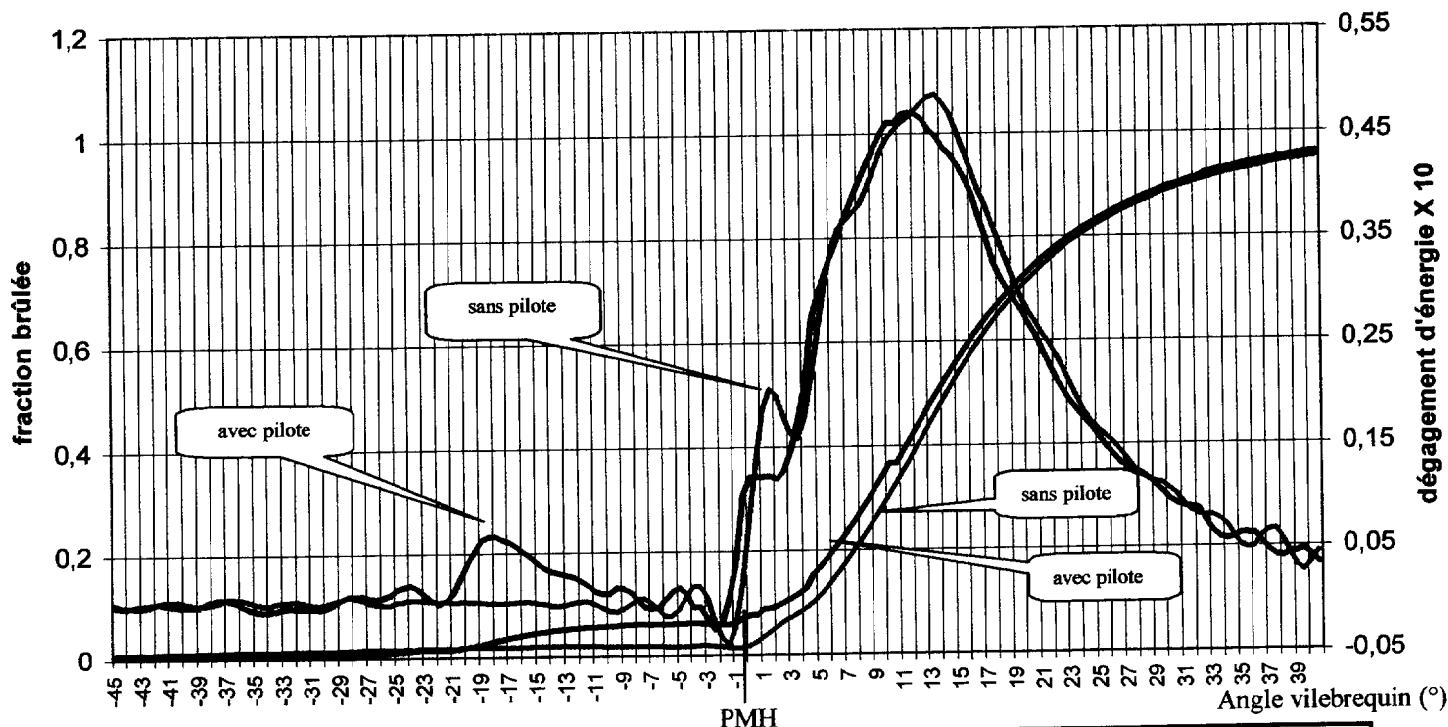
Graphique 1

gradient de pression et levée d'aiguille



Graphique 2

fraction brûlée et dégagement d'énergie



CODE EPREUVE : 70E5E7		EXAMEN : BTS	SPECIALITE : Moteurs à Combustion Interne
SESSION	SUJET	EPREUVE : U52 : étude et analyse des moteurs	
Durée : 3 h	Coefficient : 3	Code sujet : 19N303 Dossier technique : Page 1 sur 9	

2. système de contrôle moteur BOSCH EDC 15 : présentation générale-schéma hydraulique

- 1 pompe haute pression,
- 2 vanne de désactivation d'élément,
- 3 régulateur de pression,
- 4 filtre à carburant,
- 5 réservoir de carburant avec préfiltre et pompe de préalimentation,
- 6 calculateur électronique,
- 7 module de commande du temps de préchauffage,
- 8 batterie,
- 9 accumulateur haute pression (rail),
- 10 capteur manométrique de rail,
- 11 limiteur de débit,
- 12 limiteur de pression,
- 13 capteur de température du carburant,
- 14 injecteur,
- 15 bougie-crayon de préchauffage,
- 16 capteur de température du liquide de refroidissement,
- 17 capteur de vitesse de vilebrequin,
- 18 capteur de vitesse d'arbre à cames,
- 19 capteur de température de l'air d'admission,
- 20 capteur de pression de suralimentation,
- 21 débitmètre massique d'air,
- 22 turbocompresseur,
- 23 actionneur de recyclage des gaz d'échappement,
- 24 actionneur de pression de suralimentation,
- 25 pompe à dépression,
- 26 combiné d'instruments avec indicateurs de consommation, de vitesse de rotation, etc.,
- 27 capteur d'accélérateur,
- 28 contacteurs de freins,
- 29 contacteur d'embrayage,
- 30 capteur de vitesse de roulage,
- 31 commande du régulateur de vitesse de roulage,
- 32 compresseur de climatiseur,
- 33 commande de climatiseur,
- 34 afficheur de diagnostic avec connexion pour testeur.

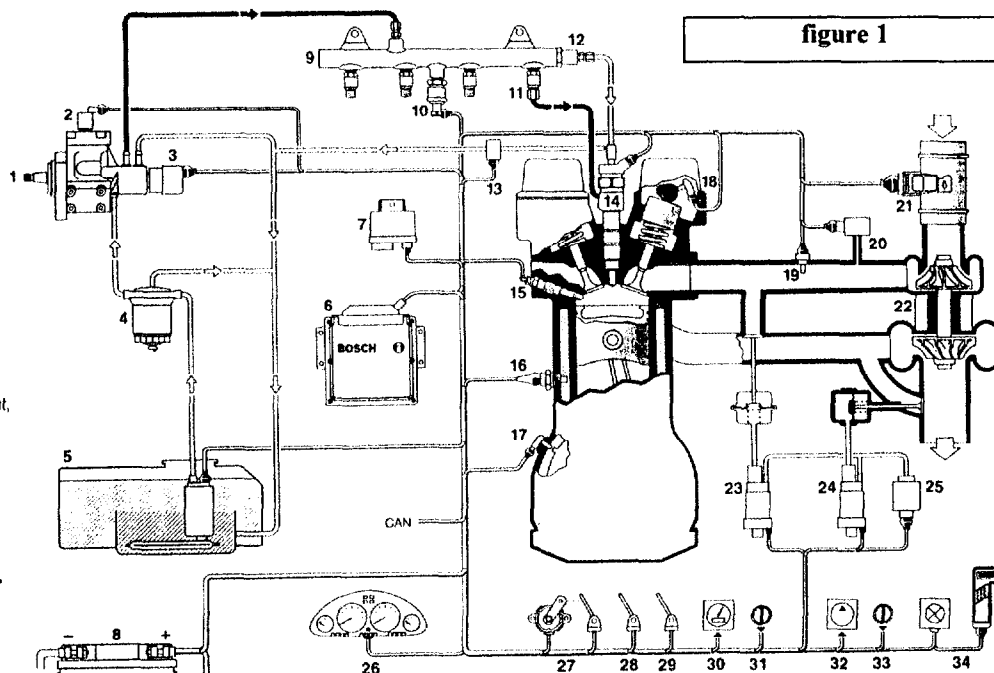


figure 1

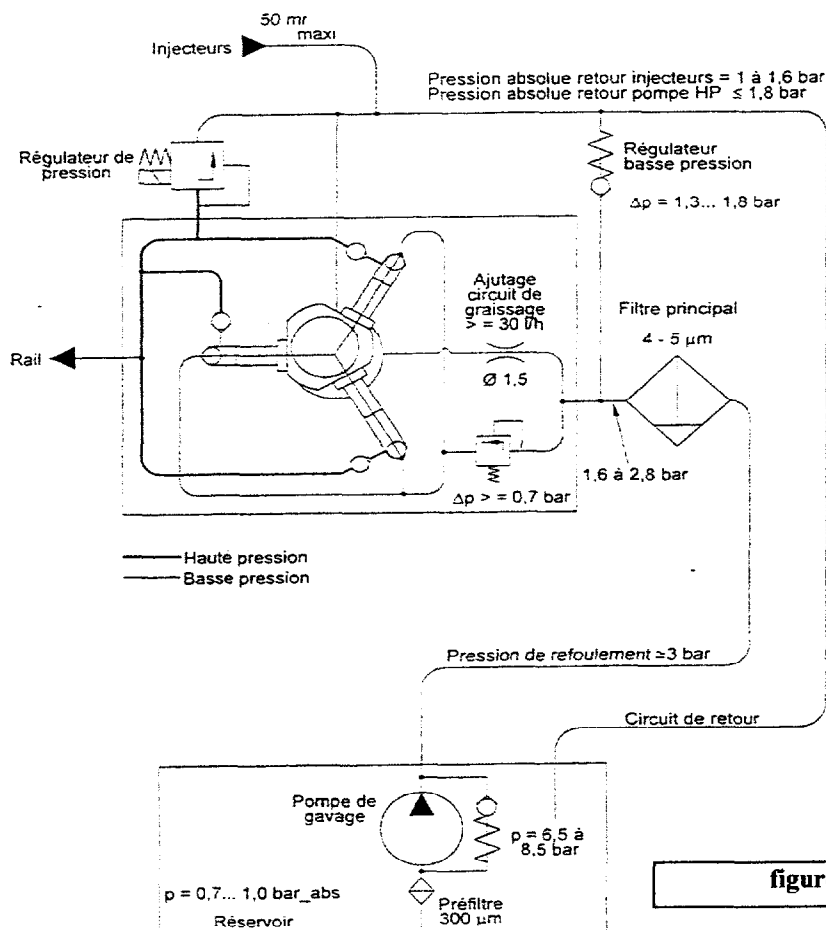
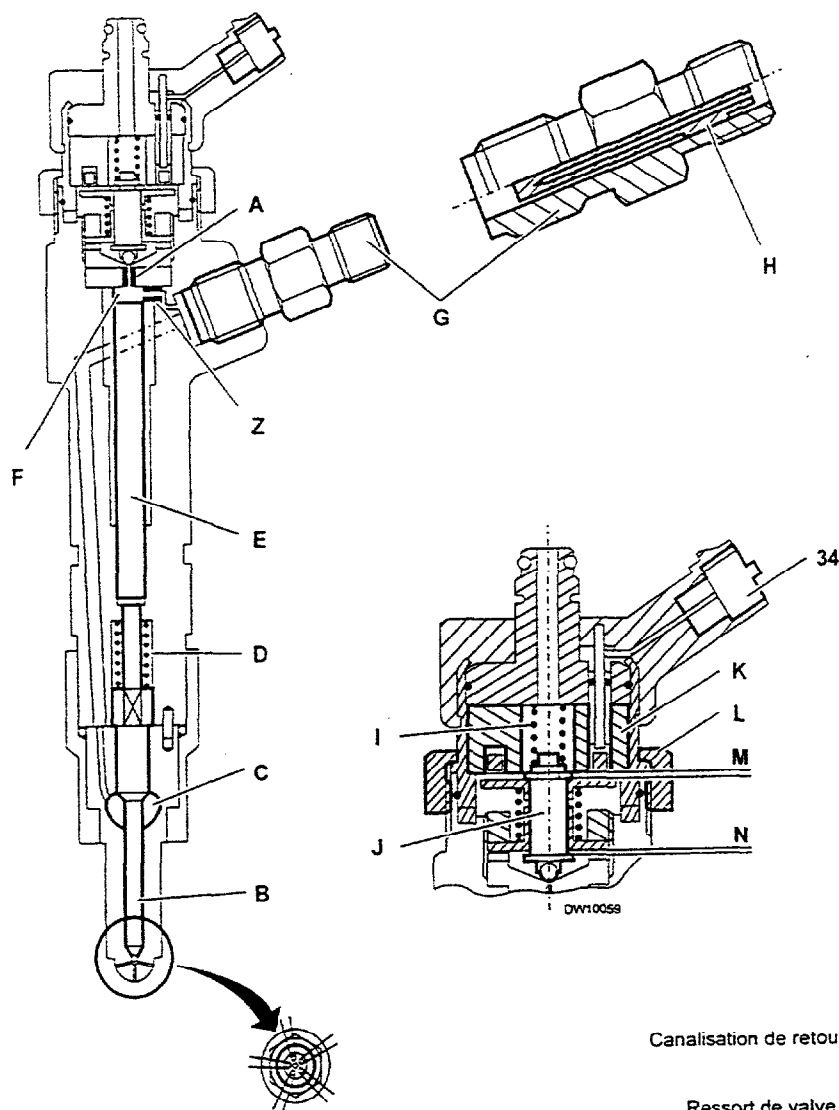


figure 2

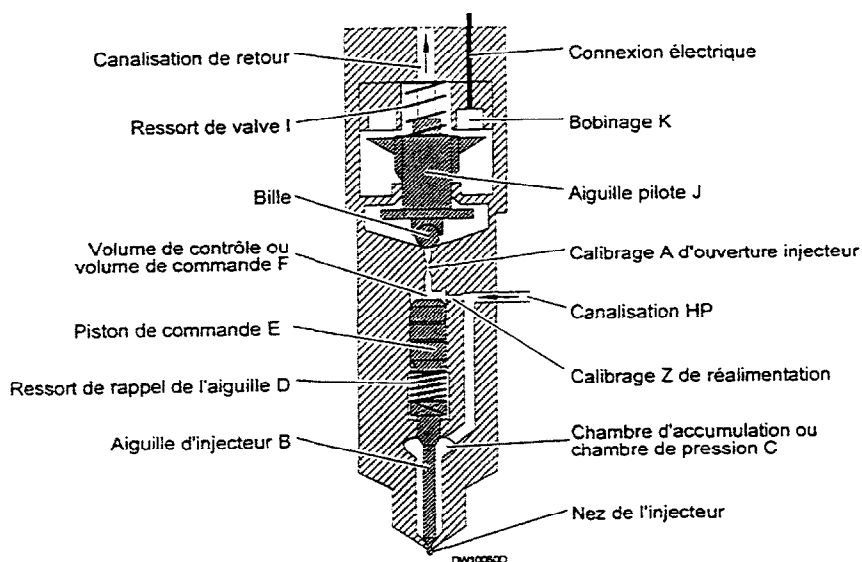
CODE EPREUVE : 70E5EA7		EXAMEN : BTS	SPECIALITE : Moteurs à Combustion Interne
SESSION	SUJET	EPREUVE : U52 : étude et analyse des moteurs	
Durée : 3 h	Coefficient : 3	Code sujet : 19 N 002 Dossier technique : Page 2 sur 9	

3. électro-injecteurs



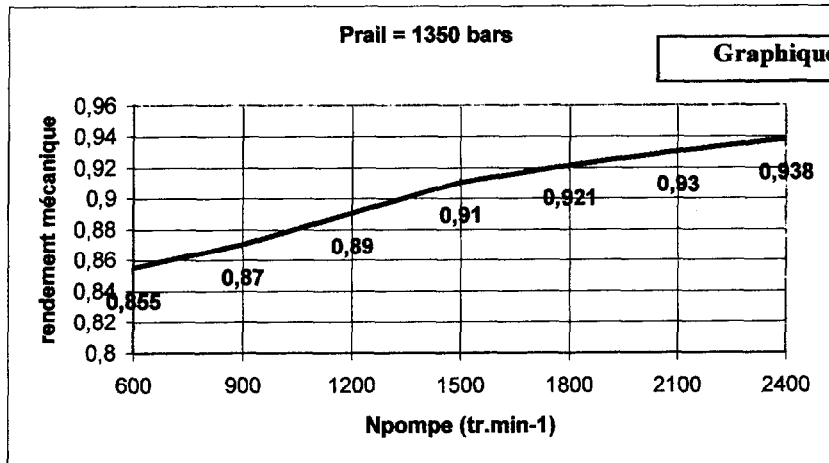
A	Ajustage d'ouverture
Z	Ajustage de réalimentation
B	Aiguille d'injecteur
C	Chambre de pression
D	Ressort d'injecteur
E	Piston de commande
F	Chambre de commande
G	Raccord
H	Filtre laminaire
I	Ressort principal
J	Aiguille pilote et bille
K	Solénoïde
L	Ecrou
M, N	Jeu de fonctionnement

figure 3



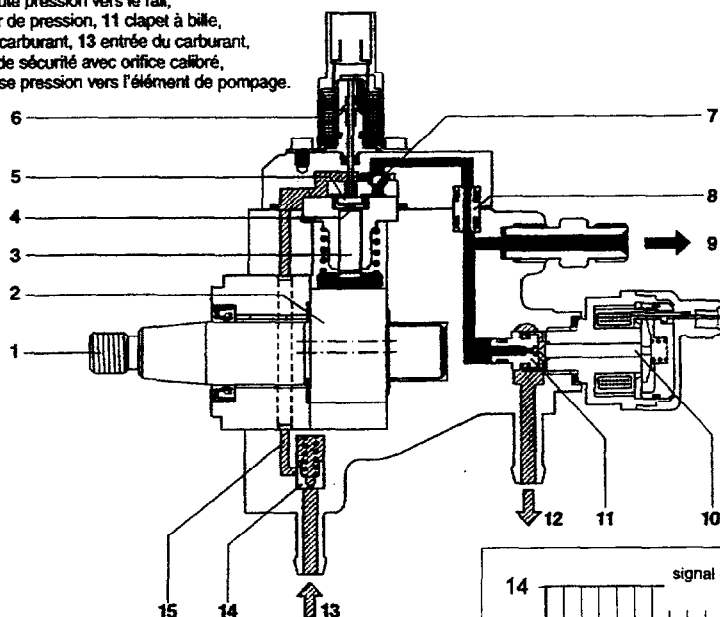
CODE EPREUVE : 10E5EA7		EXAMEN : BTS	SPECIALITE : Moteurs à Combustion Interne
SESSION	SUJET	EPREUVE : U52 : étude et analyse des moteurs	
Durée : 3 h	Coefficient : 3	Code sujet : 19N803 Dossier technique : Page 3 sur 9	

4. pompe haute pression



5. circuit hydraulique : pompe - régulateur de pression rail

1 arbre d'entraînement, 2 came excentrique, 3 élément et piston de pompage, 4 chambre d'élément, 5 soupape d'admission, 6 vanne de désactivation d'élément, 7 soupape d'échappement, 8 joint, 9 raccord haute pression vers le rail, 10 régulateur de pression, 11 clapet à bille, 12 retour du carburant, 13 entrée du carburant, 14 soupape de sécurité avec orifice calibré, 15 canal basse pression vers l'élément de pompage.



Régulateur de pression.
- clapet à bille,
- induct.,
- électro-aimant,
- ressort,
- connexion électrique.

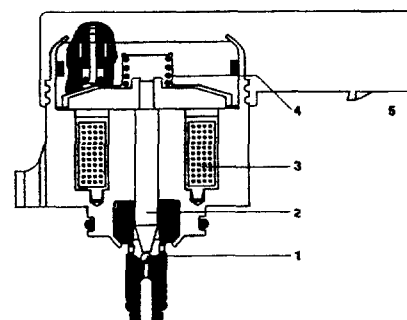
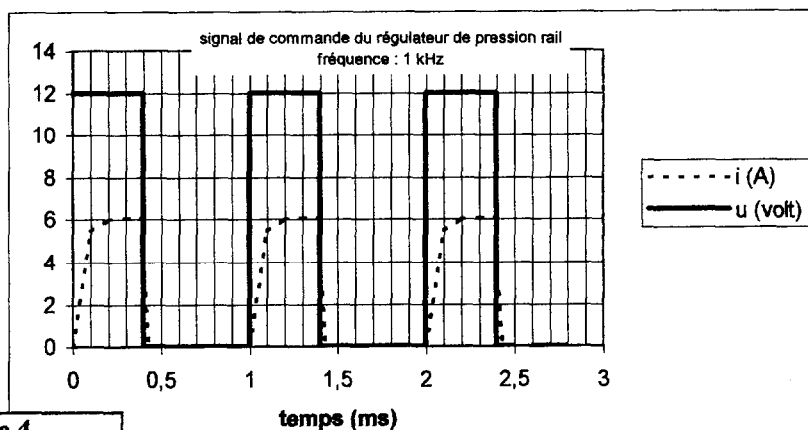


figure 4

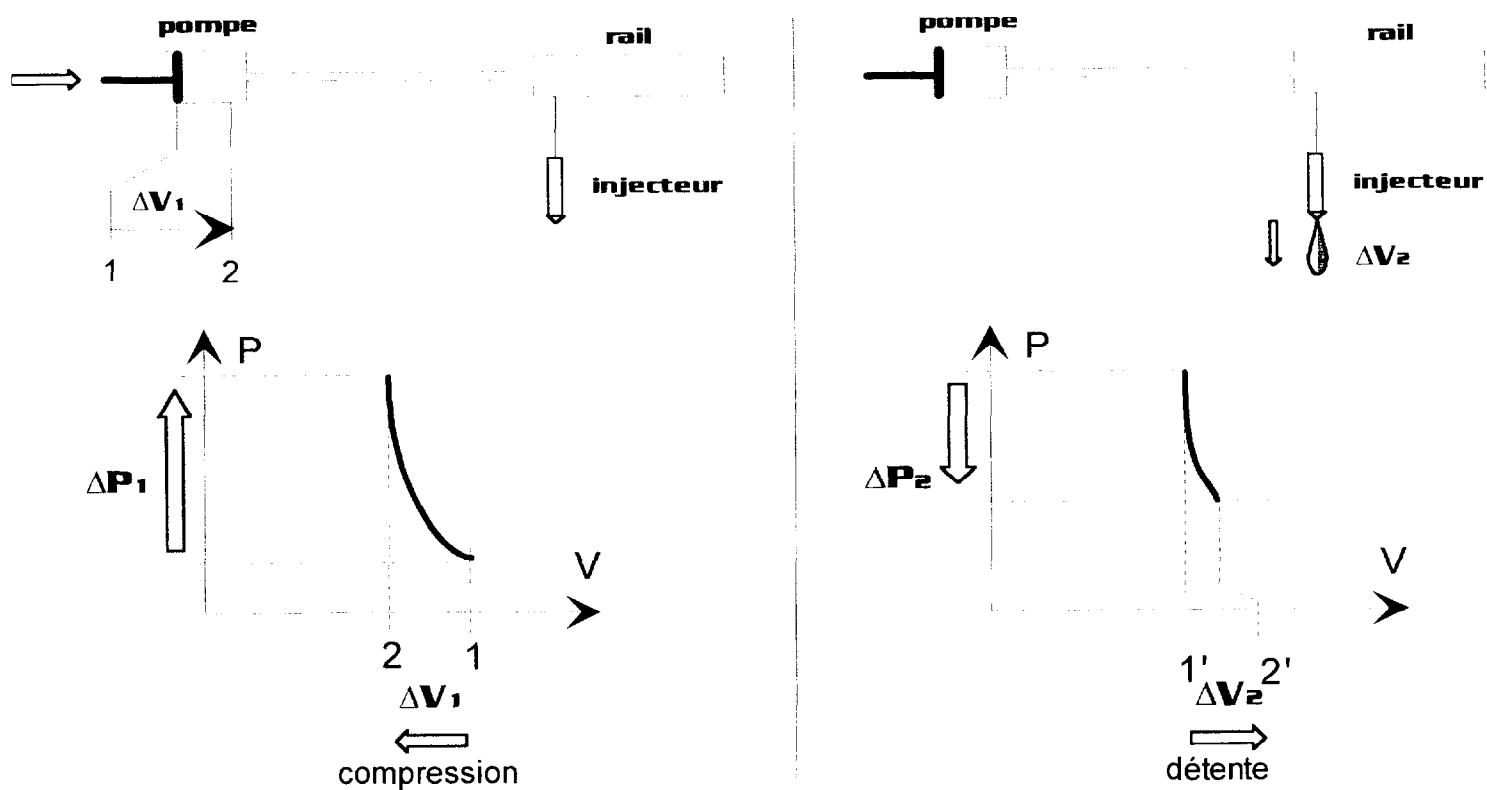


graphique 4

CODE EPREUVE : no 52527		EXAMEN : BTS	SPECIALITE : Moteurs à Combustion Interne
SESSION	SUJET	EPREUVE : U52 : étude et analyse des moteurs	
Durée : 3 h	Coefficient : 3	Code sujet : 19N803 Dossier technique : Page 4 sur 9	

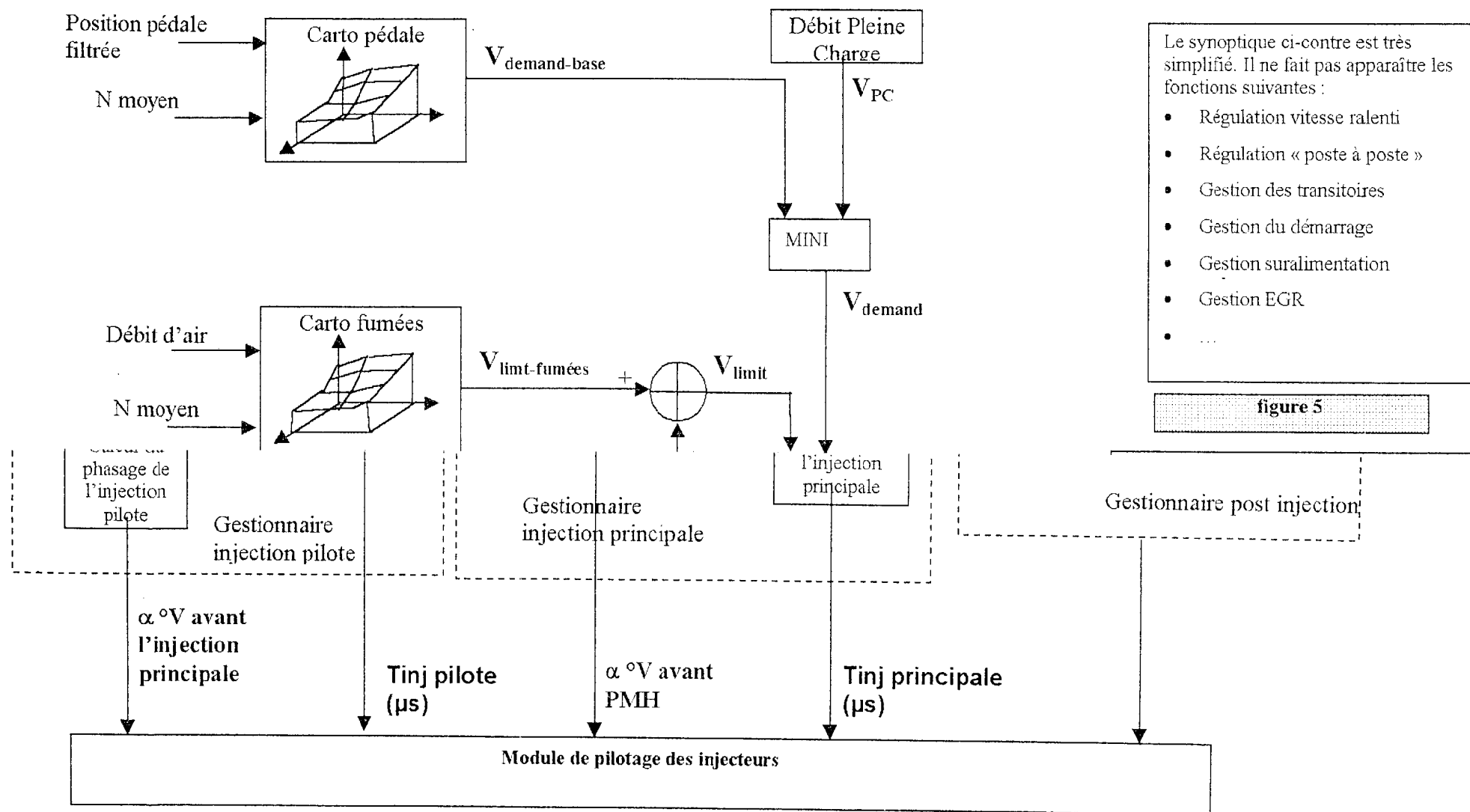
6. modélisation pour le calcul de volume du rail

Graphique 5



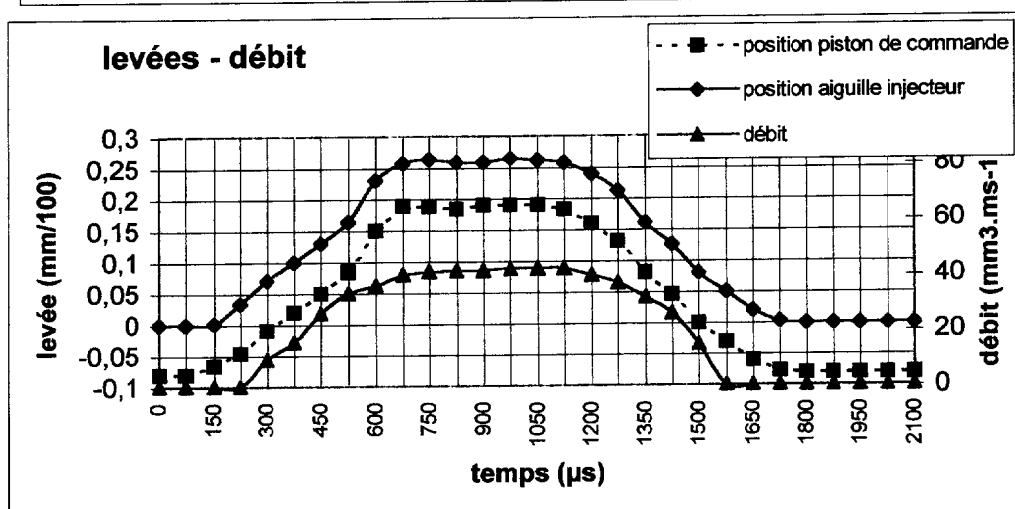
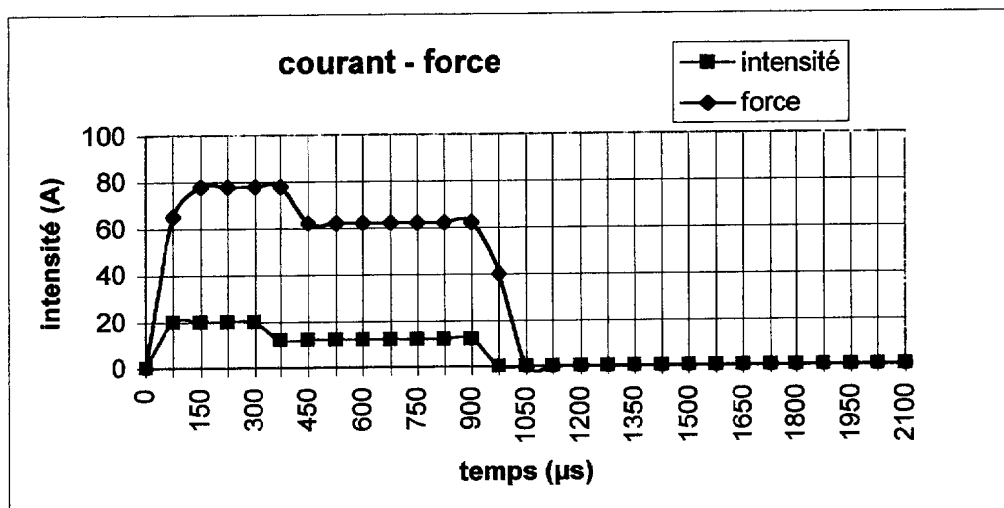
CODE EPREUVE : 70E5E97		EXAMEN : BTS	SPECIALITE : Moteurs à Combustion Interne
SESSION	SUJET	EPREUVE : U52 : étude et analyse des moteurs	
Durée : 3 h	Coefficient : 3	Code sujet : 19N803	Dossier technique : Page 5 sur 9

7. synoptique général simplifié de la partie logicielle

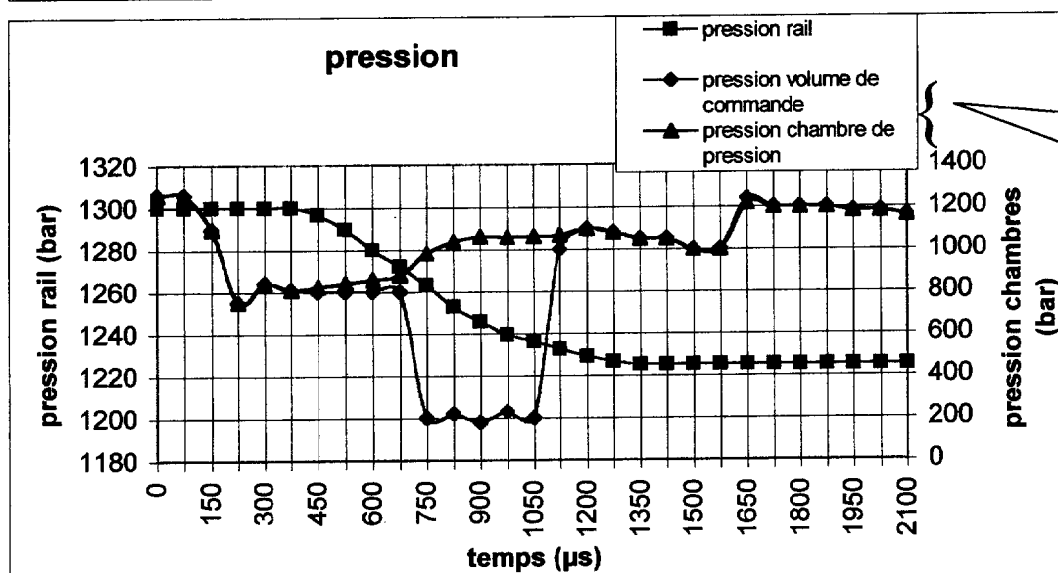


CODE EPREUVE : 7055E7A7		EXAMEN : BTS	SPECIALITE : Moteurs à Combustion Interne
SESSION	SUJET	EPREUVE : U52 : étude et analyse des moteurs	
Durée : 3 h	Coefficient : 3	Code sujet : 79NB03	Dossier technique : Page 6 sur 9

8. simulation injection : à charge élevée



Essai avec
un volume
de rail de
 15 cm^3



Attention : à
lire sur
l'échelle de
droite

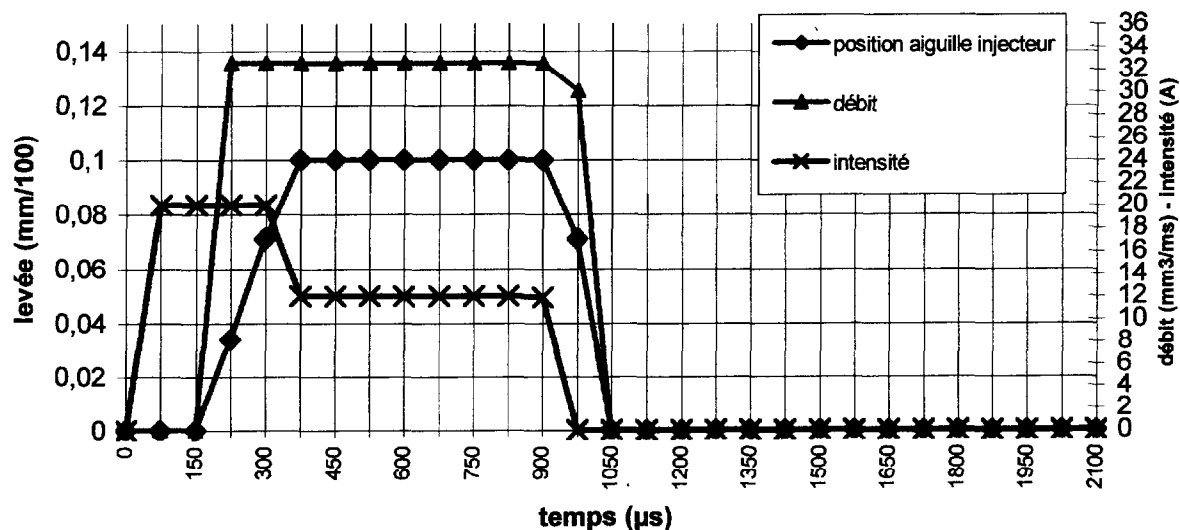
Graphique 6

CODE EPREUVE : 70E5EA7		EXAMEN : BTS	SPECIALITE : Moteurs à Combustion Interne
SESSION	SUJET	EPREUVE : U52 : étude et analyse des moteurs	
Durée : 3 h	Coefficient : 3	Code sujet : 19NB03	Dossier technique : Page 7 sur 9

9. simulation injection : à charge partielle

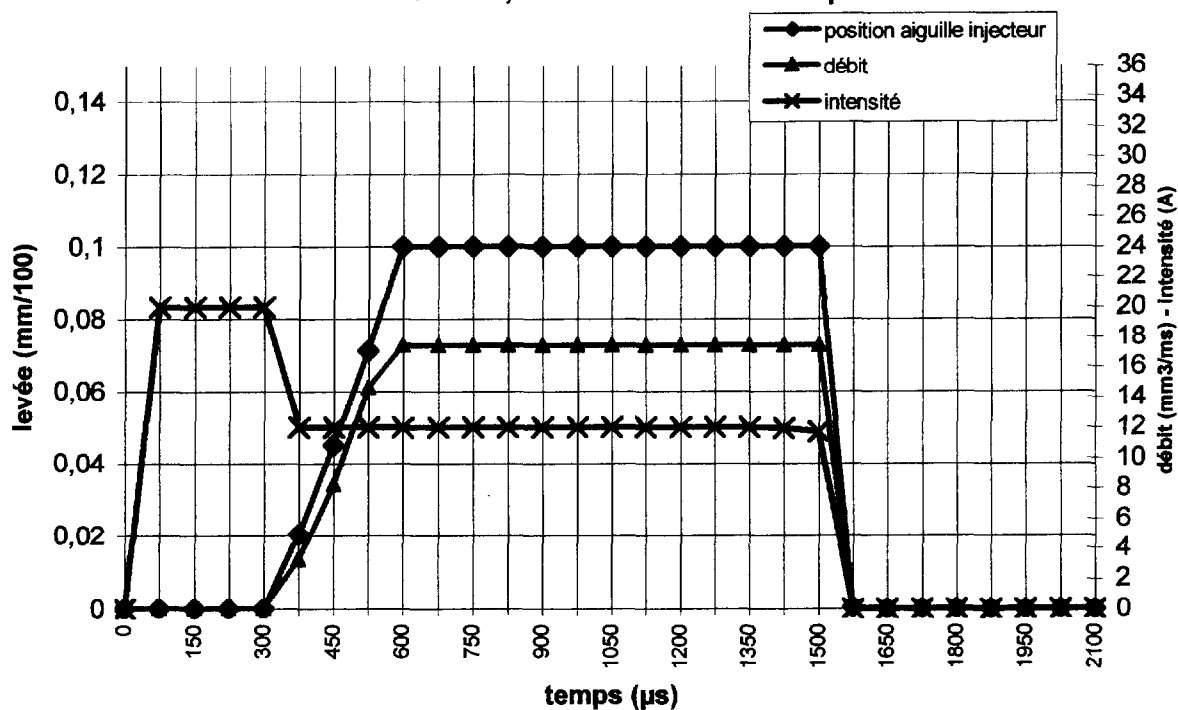
700 bars; commande de 900 μ s

Graphique 7



200 bars; commande de 1500 μ s

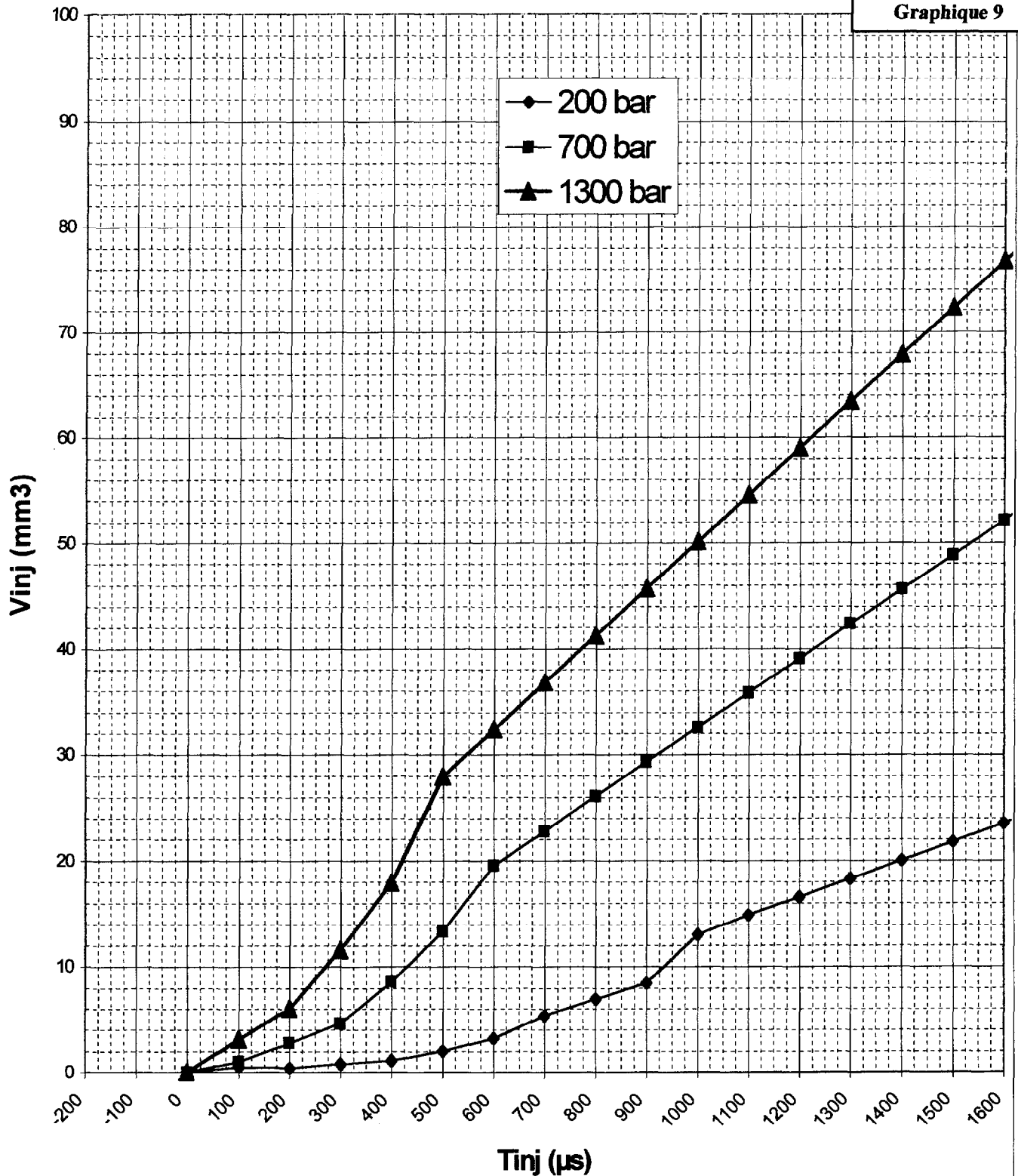
Graphique 8



CODE EPREUVE : 70E5EAn.		EXAMEN : BTS	SPECIALITE : Moteurs à Combustion Interne
SESSION	SUJET	EPREUVE :U52 : étude et analyse des moteurs	
Durée : 3 h	Coefficient : 3	Code sujet : 19N303 Dossier technique : Page 8 sur 9	

10. caractéristique injecteur

Graphique 9



CODE EPREUVE : 70E5EA7		EXAMEN : BTS	SPECIALITE : Moteurs à Combustion Interne
SESSION	SUJET	EPREUVE : U52 : étude et analyse des moteurs	
Durée : 3 h	Coefficient : 3	Code sujet : 19N302	Dossier technique : Page 9 sur 9

--

• **Tableau 1**

	Avance à l'injection	Gradient de pression en phase de combustion incontrôlée	Délai d'inflammation	HLC (maxi)	CA50	Vitesse maxi de dégagement d'énergie en phase de combustion incontrôlée
Cas injection unique						
Pilote						
Principale						

• **Tableau 2**

Durée de l'impulsion de commande	Durée de l'injection effective	Délai à l'ouverture	Délai à la fermeture	Volume injecté

• **Tableau 3**

	Délai à l'ouverture	Délai à la fermeture
700 bars – 900µs		
200 bars – 1500µs		

• **Tableau 4**

	200 bars	700 bars	1300 bars
Pente (débit statique) G			
Offset To			
Equation littérale de débit : $V_{inj} = f(T_{inj}, T_o)$			
Equation de débit pour chaque cas			

CODE EPREUVE : 70E5EA7		EXAMEN : BTS	SPECIALITE : Moteurs à Combustion Interne
SESSION 2003	Document Réponse	EPREUVE : U52 étude et analyse des moteurs	
Durée : 3 h	Coefficient : 3		Code sujet : 19NB03 Page 1 sur 1