

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

## MOTEURS À COMBUSTION INTERNE

Session 2008

### ÉTUDE DES MOTEURS

### U 51 EXPLOITATION D'ESSAIS MOTEURS

Durée 3 h – Coefficient 3

Aucun document autre que le sujet n'est autorisé.

L'usage de la calculatrice est autorisé.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il soit complet.

Le sujet comporte 14 pages numérotées de la façon suivante :

- Le texte du sujet, pages 2/7 à 7/7
- Les documents de données, pages DD 1/6 à DD 6/6
- Les documents réponses à rendre obligatoirement, pages DR 1/2 et DR2/2

<b>CODE ÉPREUVE :</b> 0806MOE5EEM		<b>EXAMEN :</b> BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		<b>SPÉCIALITÉ :</b> MOTEURS À COMBUSTION INTERNE	
<b>SESSION</b> 2008	<b>SUJET</b>	<b>ÉPREUVE : ÉTUDE DES MOTEURS</b> <b>EXPLOITATION D'ESSAIS MOTEURS - U51</b>			<b>Calculatrice</b> autorisée : OUI
<b>Durée : 3h</b>	<b>Coefficient : 3</b>	<b>Code Sujet : 171NB05</b>			<b>Page : 1/7</b>

## ORGANISATION DU SUJET

### 1. PROBLÉMATIQUE

- Les normes de pollution EURO IV imposent des niveaux d'émission sévères. Pour les moteurs Diesel, le compromis oxydes d'azote ( $NOx \leq 0,25 \text{ g.km}^{-1}$ ) et ( $HC + NOx \leq 0,30 \text{ g.km}^{-1}$ ) associé à un niveau de particules ( $\leq 0,025 \text{ g.km}^{-1}$ ) est particulièrement difficile à atteindre, et suppose des techniques de dépollution performantes.
- L'étude menée dans ce sujet porte sur l'un des aspects de ces techniques : la « Recirculation des Gaz d'Echappement » (RGE).
- Le moteur Diesel comporte un pré-catalyseur, un catalyseur + filtre à particules.

### 2. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

- Il s'agit de déterminer :
  - Le débit de gaz d'échappement pour réaliser le taux de RGE voulu,
  - La vanne RGE à utiliser,
  - Les réglages d'injection à retenir en accord avec un Cahier des Charges donné.

### 3. PLAN DE L'ÉTUDE

- Partie 1 : expression du besoin en RGE.
- Partie 2 : dimensionnement du circuit de RGE.
- Partie 3 : choix des réglages pour un point harmonisé.

### 4. TEMPS CONSEILLÉ ET BARÈME

- lecture du sujet 15' ;
- partie n°1 : 60'
- partie n°2 : 35'
- partie n°3 : 70'

**les 3 parties sont indépendantes**

**Le barème est établi en fonction de la durée de chaque partie.**

**La clarté des réponses, la précision de l'argumentation et la présentation seront prises en compte dans la notation.**

**Conseil : bien lire le sujet, en particulier les objectifs, données et hypothèses pour chaque partie.**

# Partie n°1 : EXPRESSION DU BESOIN EN RGE

## Objectifs de cette partie

- Effectuer un calcul de première approche du débit de gaz d'échappement requis pour atteindre une cible d'émission en NO<sub>x</sub>
- Pour cela il vous faudra, à partir de résultats d'essai : document de données DD1/6
  - calculer la masse de gaz d'échappement recyclée à l'admission :  $m_{RGE}$
  - évaluer le taux de RGE

## Problématique

Afin d'évaluer le taux de RGE, la difficulté réside dans l'évaluation de la valeur de la  $m_{RGE}$  puisqu'elle n'est pas mesurable directement.

Il existe différentes méthodes pour évaluer la  $m_{RGE}$  ou le taux de RGE :

- Méthode par mesures du CO<sub>2</sub> :  
C'est la méthode la plus fiable. Toutefois celle-ci nécessite des baies d'analyses CO<sub>2</sub>, avec les problèmes de disponibilité et la lourdeur de mise en œuvre que cela suppose.
- Méthode par bilan enthalpique lors du mélange des gaz frais et de la RGE :  
C'est une méthode de calcul de la  $m_{RGE}$  en fonction d'autres paramètres mesurés. Celle-ci est plus économique du point de vue des moyens et de leur mise en œuvre.

C'est cette dernière méthode que l'on vous propose d'utiliser.

## Données

- Document de données DD1/6 : tableau de résultats d'essai sur un point de fonctionnement peu chargé
- Cahier des charges : la cible à atteindre, du point de vue des polluants, pour ce point de fonctionnement donnée : CO ≤ 25g·h<sup>-1</sup> HC ≤ 10g·h<sup>-1</sup> Particules ≤ 0,63g·h<sup>-1</sup> NO<sub>x</sub> ≤ 4g·h<sup>-1</sup>
- Document réponse 1/2 : vue d'ensemble de la boucle d'air d'un MCI Diesel suralimenté  
tableau réponse : questions 1.3.1 et 1.3.2

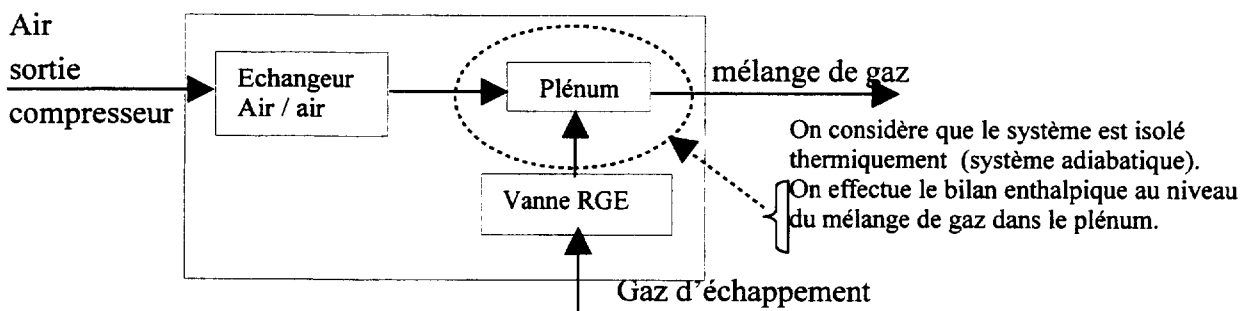
## Travail à effectuer

### 11 GÉNÉRALITÉS CONCERNANT LE « RGE »

- 1.1.1. Donner une définition du taux de RGE sous forme de rapport de masse
- 1.1.2. Tracer sur un graphe l'allure typique de la courbe montrant l'évolution des émissions de NO<sub>x</sub> en fonction du taux de RGE .  
Justifier en huit lignes maximum cette évolution.

### 12 APPROCHE GÉNÉRALE DE LA MÉTHODE PAR BILAN ENTHALPIQUE

le système d'admission peut-être assimilé au modèle suivant :



- 1.2.1. Donner une relation générale de la thermodynamique appliquée au mélange de gaz (gaz frais et RGE) dans le plénum et qui effectue le bilan enthalpique.
- 1.2.2. a) Ecrire les relations exprimant la variation d'enthalpie que subissent les gaz frais d'une part et la variation d'enthalpie que subissent les gaz brûlés d'autre part.  
b) En déduire l'expression qui permettra de déterminer la  $m_{RGE}$  en fonction de la masse d'air, des  $C_p$  et des températures.
- 1.2.3. Instrumentation

Utilisez l'expression par bilan enthalpique simplifiée où l'on considère  $C_{p_{RGE}} = C_{p_{air}}$

$$m_{RGE} = m_{AIR} \times \frac{T_{AIR} - T_{mélange}}{T_{mélange} - T_{RGE}}$$

Sur le document réponse 1/1 :

- a) En vous référant aux mesures effectuées lors des essais (document de données DD1/6), mentionner les différents points de mesure de température nécessaires pour déterminer la  $m_{RGE}$  (en conservant les mêmes indices).
- b) De quels moyens disposez-vous pour l'acquisition de la masse d'air.

### 13 CALCUL DU TAUX DE « RGE » PAR LA MÉTHODE DU BILAN ENTHALPIQUE

- 1.3.1. Calculer le taux de RGE pour chacun des points d'essai qui répondent au cahier des charges rappelé ici :
- Cahier des charges : la cible à atteindre, du point de vue des polluants, pour ce point de fonctionnement donné :  
 $CO \leq 25g \cdot h^{-1}$   $HC \leq 10g \cdot h^{-1}$   $Particules \leq 0,63g \cdot h^{-1}$   $NO_x \leq 4g \cdot h^{-1}$   
 Compléter le tableau du document réponse 1 / 1 à savoir :  
 - relever les valeurs à partir du document DD1/6 pour compléter les colonnes 1 à 4  
 - calculer les valeurs pour les colonnes 5 et 6
- 1.3.2. Déterminer ensuite le débit de RGE (exprimé en  $g \cdot s^{-1}$ ) pour ces mêmes points d'essai :
- a) Indiquer sous forme d'expression littérale la relation que vous allez utiliser.
- b) Compléter le tableau du document réponse 1 / 1 (colonne 7).

## Partie n°2 : DIMENSIONNEMENT DU CIRCUIT DE RGE

### Objectifs de cette partie

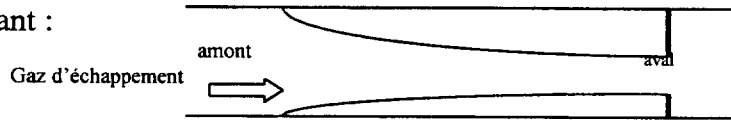
- Déterminer et choisir une vanne de RGE

### Données

- vous prendrez le débit de RGE de  $12,3 \text{ g.s}^{-1}$  et les conditions d'essai se rapportant à la ligne N°19
- la relation de Barré St Venant vous est donnée sous la forme :

$$Q_m = \frac{P_{\text{amont}}}{r T_{\text{amont}}} \times \left( \frac{P_{\text{aval}}}{P_{\text{amont}}} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \times S_{\text{efficace}} \times \sqrt{2 \left( \frac{r \gamma}{\gamma - 1} \right) T_{\text{amont}} \left[ 1 - \left( \frac{P_{\text{aval}}}{P_{\text{amont}}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]}$$

avec le modèle suivant :



- Document de données DD2/6 :

Catalogue de différentes vannes RGE avec courbes caractéristiques prises dans les conditions de références : Pression amont = 1013 hPa,  $T_{\text{Camont}} = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta P = 50 \text{ hPa}$

### Hypothèses

Pour les gaz d'échappement, on supposera :  $r = 287 \text{ J. kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  et  $\gamma = 1,4$

## Travail à effectuer

### 21 DÉTERMINATION DE LA SECTION EFFICACE DE VANNE PAR BARRÉ ST VENANT

- 2.1.1. Le débit massique compte tenu des conditions en aval, peut s'écrire sous la forme :

$$Q_m = \rho_{\text{aval}} \cdot S_{\text{eff}} \cdot C_{\text{aval}}$$

Identifier, dans la relation de Barré St Venant, les deux termes :

. $\rho_{\text{aval}}$  : masse volumique des gaz au point aval

. $C_{\text{aval}}$  : vitesse isentropique des gaz au point aval

Préciser les unités de chaque terme dans le système international.

- 2.1.2. Calculer la masse volumique et la vitesse isentropique des gaz au point aval dans les conditions d'essai (ligne N°19 du document DD1/6) .
- 2.1.3. Calculer la section efficace nécessaire pour faire passer ce débit massique corrigé.

### 22 CHOIX DE LA VANNE SUR CATALOGUE

Quelles vannes répondent au besoin strict pour ce point de fonctionnement ?

Laquelle pourra répondre aux besoins du moteur sur toutes les situations de fonctionnement ?

# Partie n°3 : CHOIX DES RÉGLAGES DE L'INJECTION

## Objectifs de cette partie

- Optimiser à partir de résultats d'essais les réglages de base du contrôle moteur pour respecter le Cahier des Charges du point de vue : émissions, CSE, bruit.

Les réglages de base à déterminer concerneront le système d'injection, à savoir : le réglage de la pression d'injection, le réglage du phasage de l'injection principale, le réglage du phasage de l'injection pilote.

## Données

- Documents de données : DD3/6 à DD6/6, graphes de résultats d'essai exprimés en isolignes concernant le point de fonctionnement : Régime: 1300 tr.min<sup>-1</sup> – PME: 1 bar
- Cahier des charges : critères à prendre par ordre de priorité
  - 1) NOx ≤ 81 ppm
  - 2) CSE ≤ 437 g.kW<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>
  - 3) Bruit minimum
  - 4) Fumées minimum
  - 5) Robustesse des prestations NOx et CSE vis-à-vis des réglages
- Document réponse 2/2 : Graphe en isolignes  
Résultats des réglages

## Travail à effectuer

### 31 ANALYSE DES RÉSULTATS D'ESSAIS

- 3.1.1. Graphe : NOx = f (phasage main / phasage pilote) sur le document DD 5/6  
Justifier l'influence du phasage de l'injection principale sur les émissions de NOx.  
(Formuler votre réponse en six lignes maximum)  
Vous raisonnerez avec un phasage de l'injection pilote fixe.
- 3.1.2. Graphe : CSE = f (phasage main / phasage pilote) sur le document DD 6/6  
Décrire la tendance observée lorsque le phasage de l'injection principale varie avec une valeur de phasage de l'injection pilote fixe.  
Justifier cette tendance en vous appuyant sur l'observation des autres graphiques (par ex. CO et HC sur DD5/6 et T°C gaz échappement DD6/6). Formuler votre réponse en huit lignes maximum.
- 3.1.3. Robustesse des prestations NOx et CSE vis-à-vis des réglages de phasage des injections :  
On peut estimer que le système de « contrôle moteur » peut introduire des erreurs de réglage sur le phasage des différentes injections de l'ordre de +/- 0,5°.  
Après observation des graphiques NOx et CSE = f (phasage main/ phasage pilote) :  
pour quel réglage de phasage de l'injection est-il impératif de ménager une garde suffisante afin d'assurer la robustesse du choix de réglage ?

### 32 CHOIX ET VALIDATION DES RÉGLAGES

- 3.2.1. Choix de la pression d'injection : documents de données DD 3/6 et 4/6  
La pression d'injection retenue est de 530000 hPa.  
Le débit de RGE retenu de 12,3g.s<sup>-1</sup> conditionne le débit d'air, vous prendrez :  
MAF (ou Qm air) = 255 mg /TDC  
Réaliser un constat sur ces choix de réglage, au regard des critères : NOx, CSE, bruit, fumée, du cahier des charges.  
Discuter ces choix en mettant en évidence le(s) critère(s) sacrifié(s).

- 3.2.2. Choix du phasage de l'injection principale et de l'injection pilote: documents DD 5/6 et 6/6
- 3.2.2.1. Aidez-vous du document réponse DR2/2  
Isoler sur le document de données DD 5/6 une zone qui réponde au premier critère :  $\text{NO}_x \leq 81 \text{ ppm}$ .  
Reporter cette zone sur le document réponse qui prend en compte le deuxième critère du cahier des charges :  $\text{CSE} \leq 437 \text{ g} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ .
- 3.2.2.2. Dans ce domaine, proposer un couple de valeurs de réglage : [phasage principale-phasage pilote], afin de respecter les deux critères suivants du cahier des charges, par ordre de priorité : **bruit minimum - émission de fumées minimale** .  
Compléter le document réponse.  
Argumenter votre choix pour les deux réglages : « phasage de l'injection principale » et « phasage de l'injection pilote ».
- 3.2.2.3. Robustesse des réglages choisis :  
Commenter vos choix pour leur robustesse vis-à-vis des critères du cahier des charges concernant les émissions de  $\text{NO}_x$  et la CSE.

## DOCUMENT DE DONNEES DD 1/6

Régime 1300 tr.min<sup>-1</sup>  
PME 1 bar

cahier des charges : en g/h  
CO: 25 HC: 10 Nox: 4 Part: 0,63

N° ligne	Qinj total mm3/cp	Prail cons hPa	Mair cons mg/cycle/cyl	CO g/h	HC g/h	NOx g/h	Part g/h	T0	T2	T3		T4		P2	P3	
								Tair fill	Tair S comp	Tair S.échang	TEGR	Tmélange	Téchap S mot	Téchap S turb	Pair S comp	Péchap S mot
								°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	mbar	mbar
1	5,54	480000	270	20,4	5,5	6,1	0,33	25,6	34,4	31,7	114,7	74,4	183	137	1016	1056
2	5,652	480000	220	23,2	5,3	3	0,36	25,7	34,3	31,1	121,8	80,9	186	136	1013	1037
3	5,647	480000	270	23,1	6,9	5,2	0,14	25,6	34,2	31,7	117,4	74,7	189	140	1017	1057
4	5,689	480000	270	17,2	5	6,8	0,38	25,8	34,4	31,6	114,3	74,2	180	136	1017	1056
5	5,889	480000	220	28,2	6,4	2,4	0,52	25,8	34,3	31,8	123,7	81,4	193	139	1012	1037
6	5,905	480000	220	56,3	17,4	1,4	0,11	26,2	35,2	29,7	132	83,8	211	150	1013	1037
7	5,915	480000	220	54,7	16,7	1,5	0,11	25,7	34,5	31,6	131,7	84	209	149	1013	1038
8	5,98	480000	220	29,2	6,4	2,4	0,49	26,3	35,4	27,9	124,5	80,8	195	143	1013	1035
9	5,978	480000	253	38,3	11,5	2,9	0,27	25,3	34,3	31,5	124,9	78,9	199	147	1018	1055
10	6,31	480000	270	42,3	13,3	3,3	0,22	25,7	34,9	31,2	123,7	77,2	205	150	1018	1058
11	6,684	480000	220	70,7	23,2	1,2	0,09	25,3	34,3	30,9	135,4	85	215	153	1016	1044
12	8,121	480000	220	43,3	12,4	1,7	0,13	25,3	34,3	31	130,6	83,4	202	146	1015	1042
13	5,486	505000	253	18,1	4,7	5,5	0,22	25,8	34,5	30,9	117,4	77,1	183	136	1016	1049
14	5,487	505000	264	19,5	5,5	6	0,24	25,7	34,1	31,1	115,9	74,8	183	137	1017	1055
15	5,565	505000	258	22,7	6,4	4,8	0,23	25,3	34,2	31,1	118,5	77,1	186	138	1018	1056
16	6,251	513300	220	59,2	17,6	1,5	0,1	25,4	34,4	31,5	132,1	83,9	207	149	1014	1041
17	5,676	530000	250	21,8	5,1	4,2	0,16	25,8	34,6	31,7	119,4	77,6	187	139	1016	1047
18	5,699	530000	245	23	6	3,9	0,16	25,2	33,9	30,9	120,7	77,8	188	139	1016	1049
19	5,786	530000	255	24,2	6,5	3,9	0,15	25	33,8	31,3	120,1	78,1	187	138	1018	1052
20	5,889	530000	245	19,8	5,5	4,7	0,17	25,1	34	31,3	118,5	77,6	182	135	1018	1052
21	6,039	530000	245	22,2	6,1	4,2	0,13	25,1	33,9	31,3	119,4	78	185	136	1018	1052
22	5,55	546700	220	32,4	8,1	2,1	0,12	25,4	34,3	31,3	127,2	82,6	194	142	1015	1041
23	5,69	546700	270	35,3	9,9	4,2	0,1	25,3	34,3	31	121	76,1	196	144	1018	1060
24	5,497	580000	270	20	4,6	7,9	0,17	25,6	34,4	31,2	114	74,1	180	135	1017	1057
25	5,572	580000	237	28,3	7,5	3,1	0,08	25,4	34,2	31,4	124,8	80,1	192	142	1017	1048
26	5,812	580000	220	39	10,1	1,8	0,1	25,3	34,4	30,9	128	83,2	198	144	1015	1042
27	5,865	580000	220	28,9	6	2,6	0,19	26	34,4	31	122,9	81	191	138	1012	1037
28	5,885	580000	270	27,7	7,8	4,6	0,13	25,2	34,5	31,1	118,8	76,4	191	142	1020	1063
29	6,066	580000	220	25,4	5,2	3	0,21	25,8	34,2	30,9	121,7	80,7	186	136	1012	1037
30	6,012	580000	220	59,8	16,9	1,6	0,04	25,4	34,3	31,1	131,6	83,4	207	149	1014	1040
31	6,246	580000	270	37,6	9,8	4,2	0,19	25,5	34,2	31,4	120,3	75,5	195	144	1017	1059
32	6,283	580000	270	19,3	5,2	6,2	0,26	25,5	34,3	31,6	115,1	74,4	186	139	1017	1057
33	6,618	580000	220	36,9	9,5	2	0,3	25,2	34,1	31	127,4	82,7	197	143	1015	1042
34	6,704	580000	237	59,5	18,2	2	0,09	25,5	34,5	30,9	130,9	81,3	209	151	1016	1047



# DOCUMENT DE DONNEES DD 2/6

## CHOIX DE VANNES RGE

Vanne 1

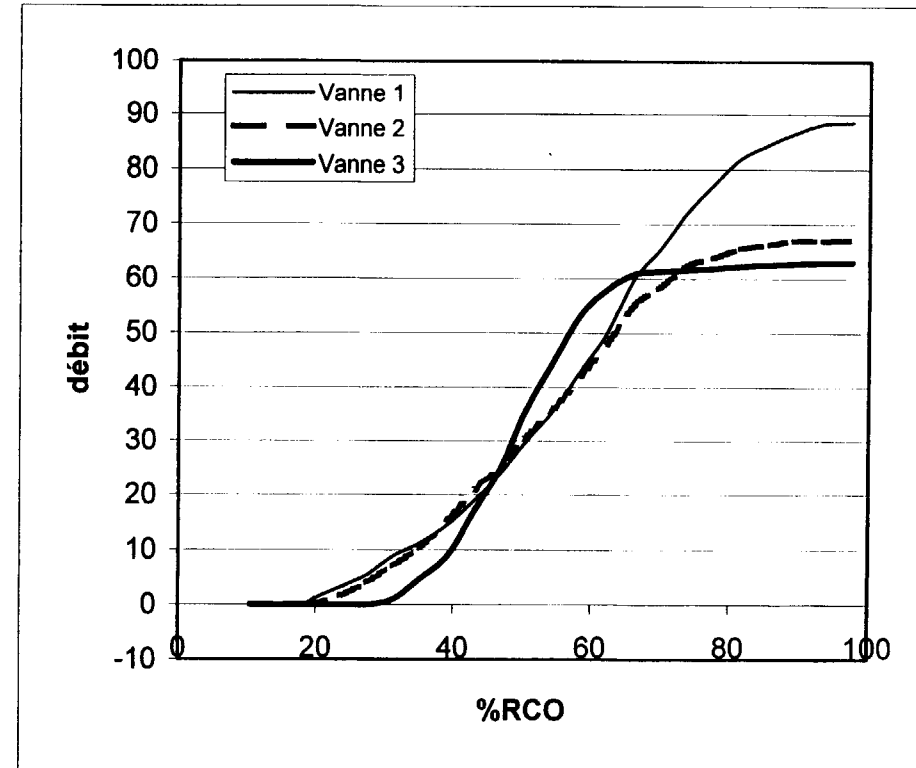
RCO (%)	Débit (kg/h)
10,55	0,11
18,25	0,11
19,78	1,11
23,62	3,21
27,45	5,44
31,29	8,89
35,13	11,25
39,35	14,74
43,18	19,08
47,03	24,08
50,38	29,5
54,69	35,94
58,53	43,13
62,36	50,07
66,2	59,93
70,04	65,43
73,88	72,17
77,71	77,38
81,54	81,91
85,77	84,52
89,23	86,44
93,44	88,19
97,67	88,51

Vanne 2

RCO (%)	Débit (kg/h)
10,55	0,05
18,25	0,05
19,78	0,05
23,62	1,6
27,45	4,1
31,29	7,1
35,13	10,4
39,35	15,6
43,18	20,9
47,03	25,8
50,38	30,4
54,69	36,2
58,53	42,1
62,36	48
66,2	55,2
70,04	58,5
73,88	62,4
77,71	63,8
81,54	65,5
85,77	66,2
89,23	66,9
93,44	66,9
97,67	67

Vanne 3

RCO (%)	Débit (kg/h)
10,55	0,03
18,25	0,03
19,78	0,03
23,62	0,03
27,45	0,03
31,29	1
35,13	4,7
39,35	9,2
43,18	17,3
47,03	25,1
50,38	35,3
54,69	45,1
58,53	53,4
62,36	58
66,2	60,8
70,04	61,3
73,88	61,6
77,71	61,9
81,54	62,2
85,77	62,5
89,23	62,7
93,44	62,9
97,67	63



Section eff (mm <sup>2</sup> )
231

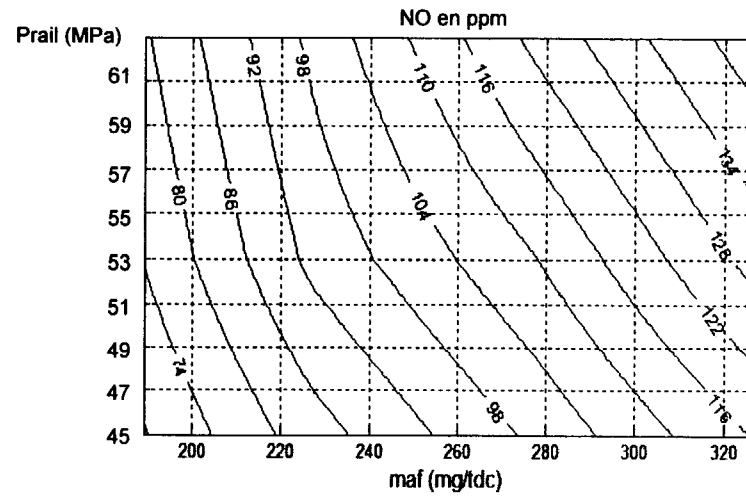
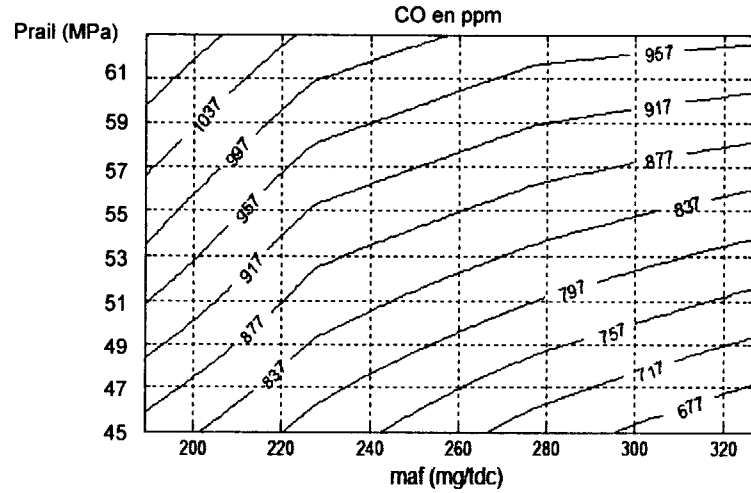
Section eff (mm <sup>2</sup> )
172

Section eff (mm <sup>2</sup> )
162

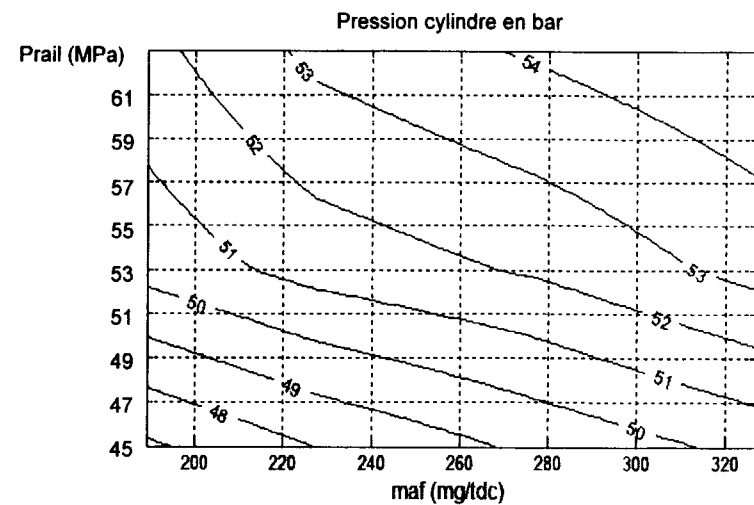
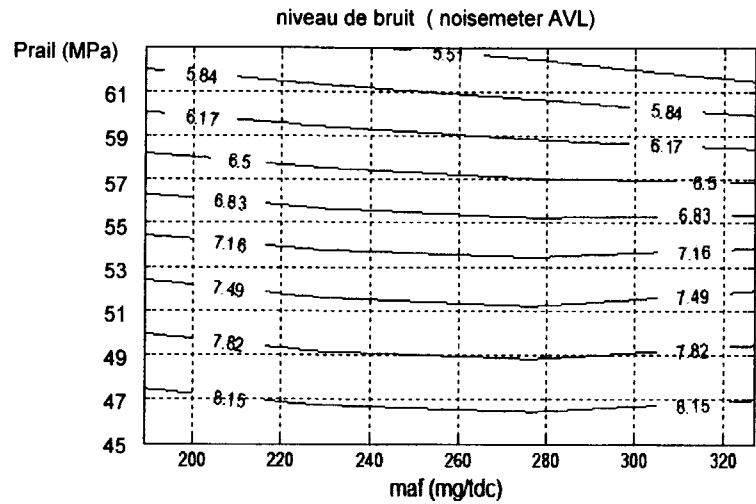
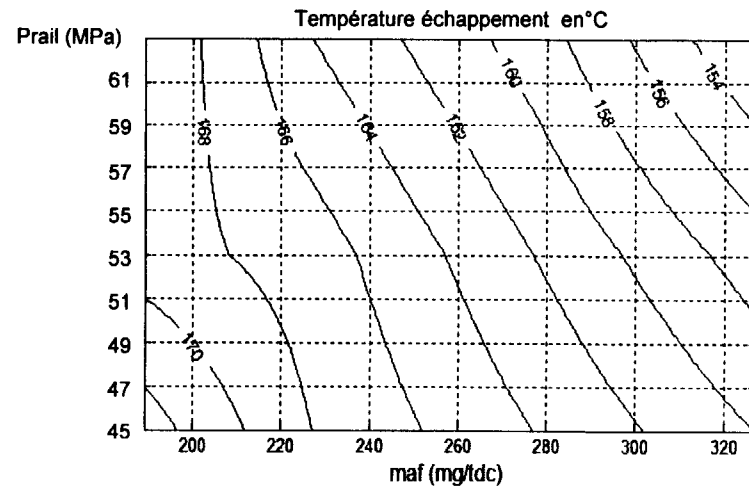
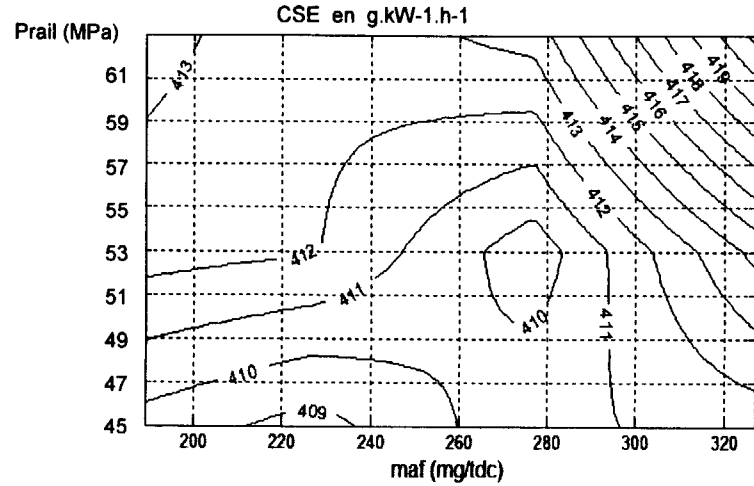
**Conditions de référence**

Pamont	1013 mbar
T°amont	20 °C
ΔP	50 mbar

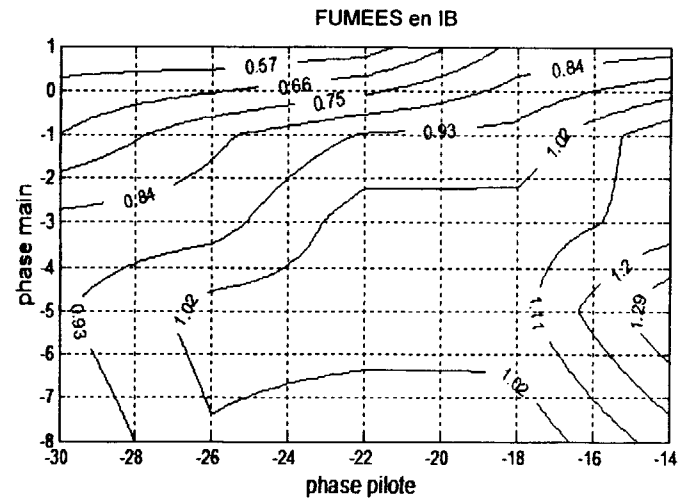
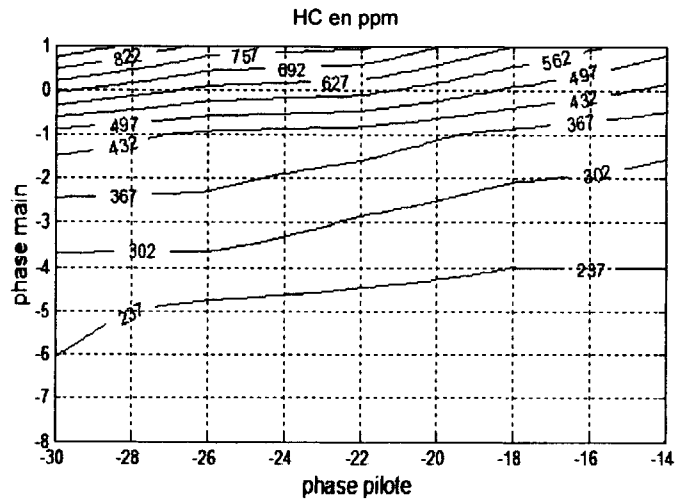
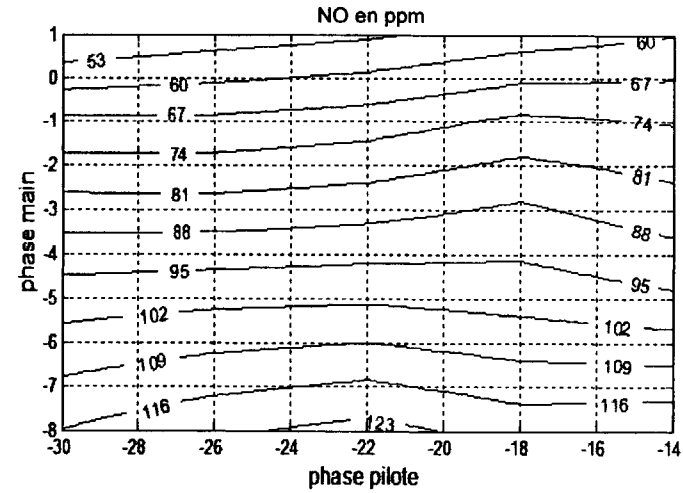
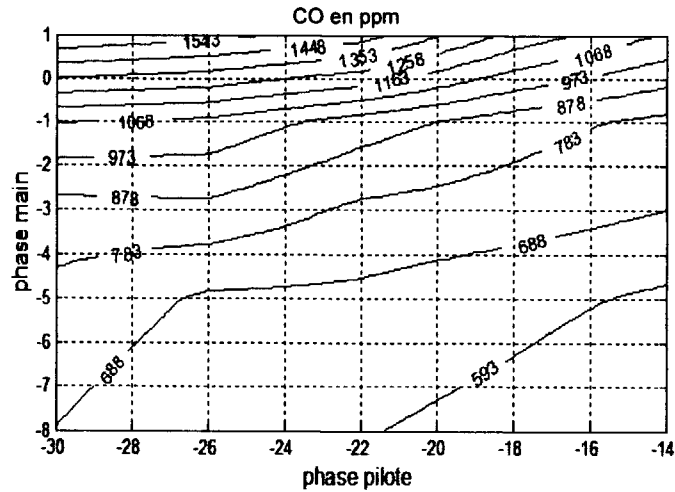
Balayage pression rail (Prail) / masse d'air (MAF) N = 1300 tr.min<sup>-1</sup> ; PME = 1 bar



**Balayage pression rail (Prail) / masse d'air (MAF) N = 1300 tr.min-1 ; PME = 1 bar**



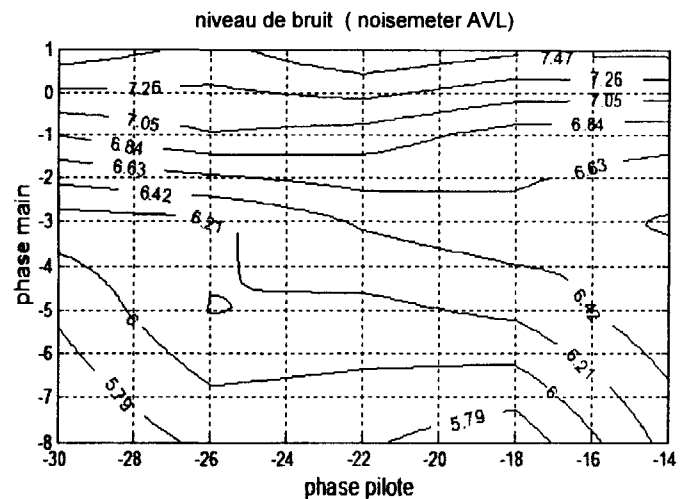
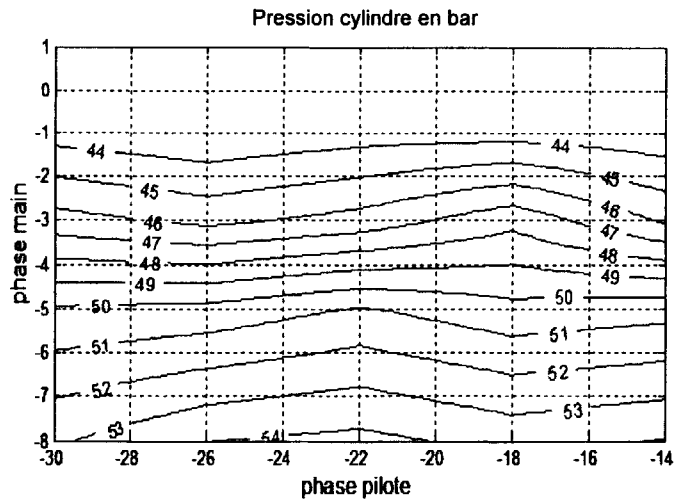
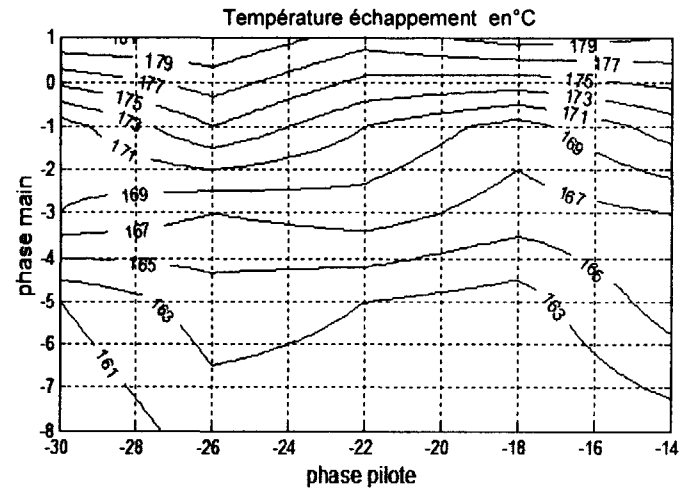
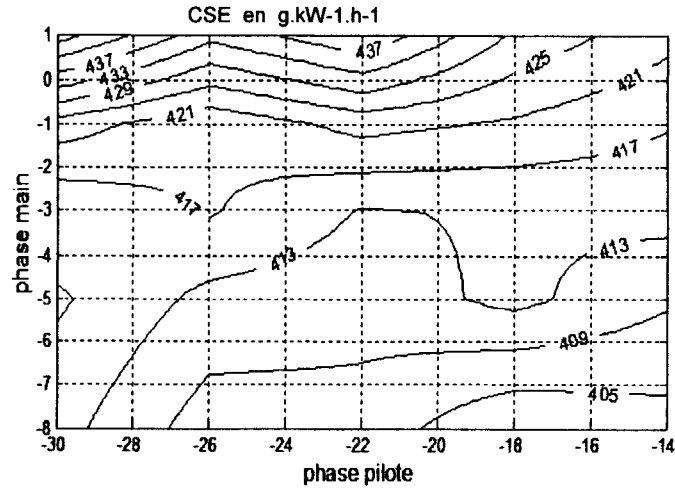
Balayage phase main / phase pilote N = 1300 tr.min<sup>-1</sup> ; PME = 1 bar



phase main = phasage de l'injection principale.

phase pilote = phasage de l'injection

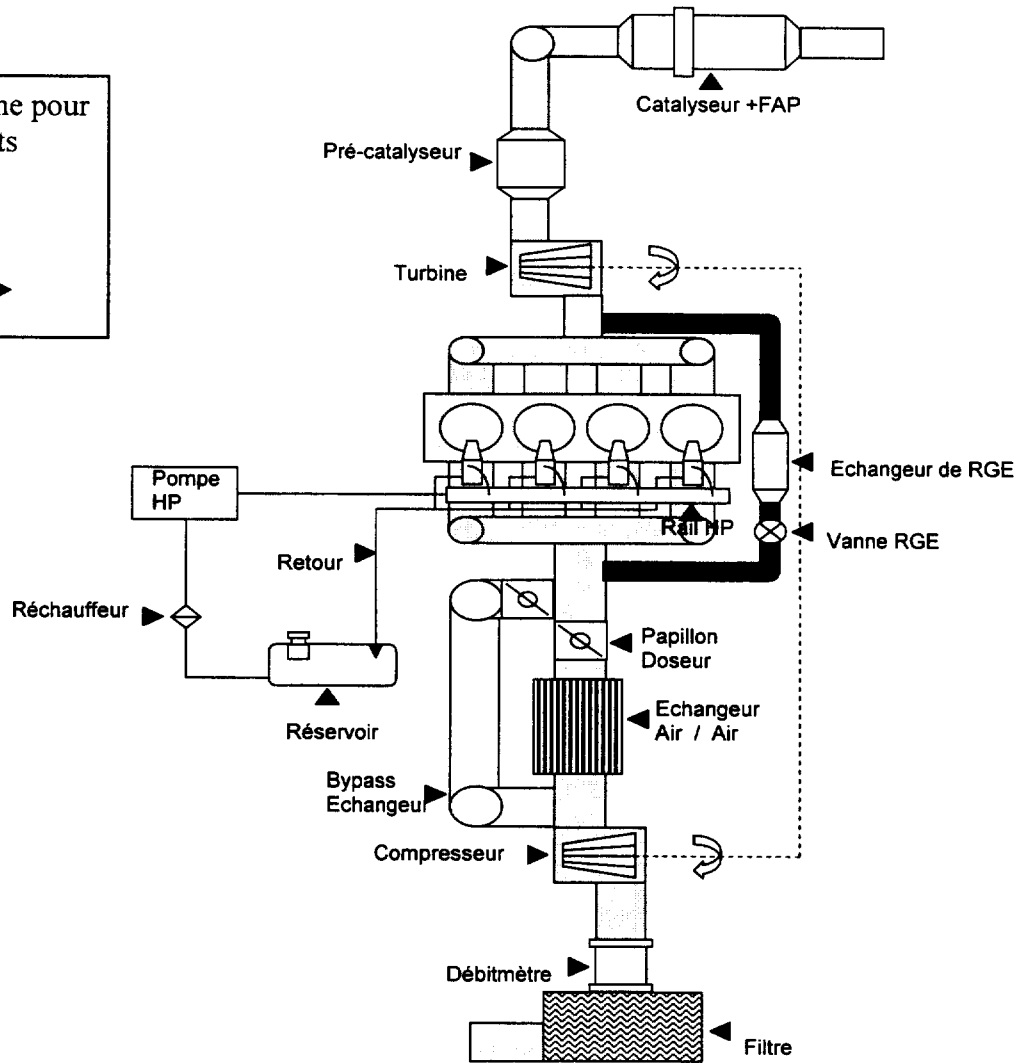
Balayage phase main / phase pilote N = 1300 tr.min-1 ; PME = 1 bar



phase main = phasage de l'injection principale. phase pilote = phasage de l'injection

Schéma moteur avec « boucle d'air »

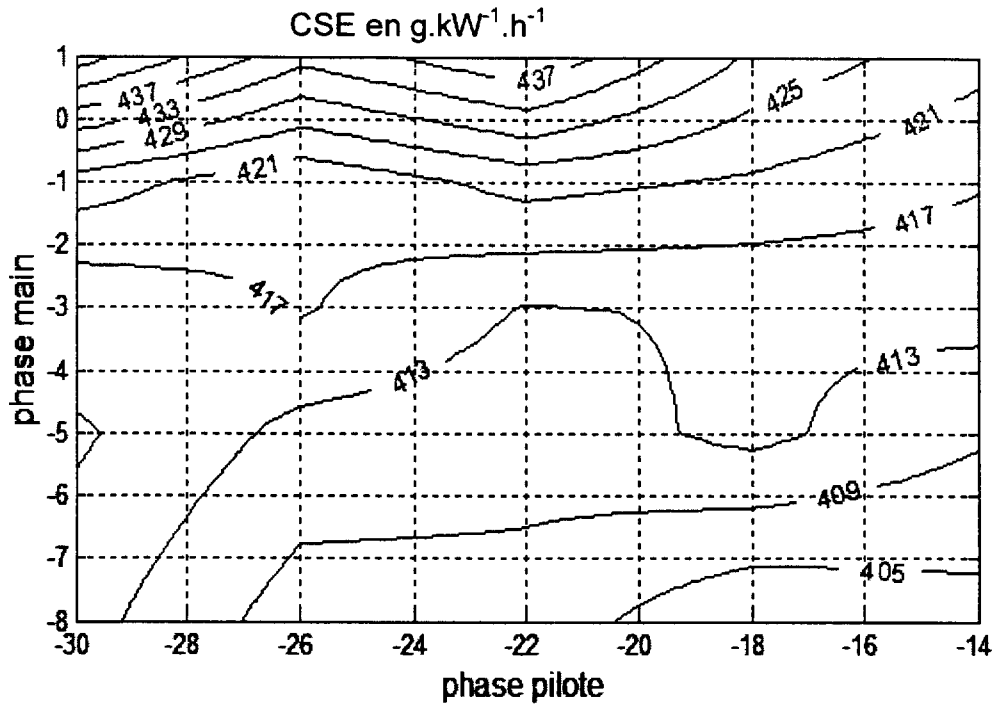
Utiliser ce formalisme pour indiquer les différents points de mesure de température



Réponses aux questions 1.3.1 et 1.3.2

	colonne 1	colonne 2	colonne 3	colonne 4	colonne 5	colonne 6	colonne 7
N°ligne	T <sub>air</sub> °C	T <sub>RGE</sub> °C	T <sub>mélange</sub> °C	m <sub>AIR</sub> mg.cycle <sup>-1</sup> .cyl <sup>-1</sup>	m <sub>RGE</sub> mg.cycle <sup>-1</sup> .cyl <sup>-1</sup>	Taux RGE %	Q <sub>m</sub> RGE g.s <sup>-1</sup>

## Réponse à la question 3.2.2.1

Balayage phase main / phase pilote  $N=1300 \text{ tr.min}^{-1}$   $PME=1 \text{ bar}$ 

## Réponse à la question 3.2.2.2

Réglages choisis :

Phasage de l'injection principale :  
 Phasage de l'injection pilote :

Résultats du réglage :

NO<sub>x</sub> =  
 CSE =  
 BRUIT =  
 FUMÉES =