

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

MOTEURS À COMBUSTION INTERNE

Session 2007

ÉTUDE DES MOTEURS

U51 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.

Documents à rendre avec la copie :

| | |
|------------|------------|
| Document 3 | page 10/15 |
| Document 4 | page 11/15 |
| Document 5 | page 12/15 |
| Document 6 | page 13/15 |
| Document 7 | page 14/15 |

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

Le sujet comporte 15 pages.

| | | | | |
|---------------------------------------|------------------------|--|--|------------------|
| CODE ÉPREUVE : 0706MOE5EEM | | EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR | SPÉCIALITÉ : MOTEURS À COMBUSTION INTERNE | |
| SESSION 2007 | SUJET | ÉPREUVE : ÉTUDE DES MOTEURS EXPLOITATION D'ESSAIS MOTEURS U51 | | |
| Durée : 3 h | Coefficient : 3 | | Code sujet : 32NB05 | Page 1/15 |

DOCUMENT 1.

Présentation.

Afin de faciliter sa résolution, le sujet est divisé en trois parties.
Il est conseillé de consacrer à chacune des parties la durée suivante:

- lecture du sujet : 10 min
- première partie : 1 h 10 min
- deuxième partie : 50 min
- troisième partie : 50 min

Les trois parties sont indépendantes.

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

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

Le dossier du sujet est composé de:

| | | | |
|---|----------------|---|-------------|
| | - Document 1 : | Présentation, objectif et texte du sujet | pages 2 à 8 |
| | - Document 2 : | Caractéristiques moteur, carburant et normes | page 9 |
| ® | - Document 3 : | Résultats d'essai moteur | page 10 |
| ® | - Document 4 : | Résultats d'essai moteur | page 11 |
| ® | - Document 5 : | Résultats d'essai antipollution | page 12 |
| ® | - Document 6 : | Codification, limites d'émission et résultats d'essai | page 13 |
| ® | - Document 7 : | Résultats d'essai moteur | page 14 |
| | - Document 8 : | Procédure d'essai | page 15 |

nombre total de pages = 15

Document ® ⇒ document réponse à rendre par le candidat à la fin de l'épreuve.

DOCUMENT 1.

Objectif de l'étude.

Un constructeur automobile européen envisage des modifications sur une génération de moteurs Diesel suralimentés afin de satisfaire la norme EURO 4.

L'étude comprend trois parties distinctes :

1^{ère} partie : A partir d'un essai, traiter, analyser et comparer des caractéristiques moteur.

2^{ème} partie : A partir d'un essai antipollution au banc à rouleau, traiter, analyser et valider un relevé antipollution véhicule.

3^{ème} partie : A partir d'un essai, traiter, analyser et optimiser un point de fonctionnement moteur.

DOCUMENT 1.

1^{ère} partie: Exploitation de résultats d'essai moteur.

Objectif :

On souhaite comparer un moteur de cette génération à des moteurs Diesel plus récents déjà en EURO 4. Les moteurs comparés sont très proches en terme de puissance et de couple du moteur étudié. **Le comparatif se fera exclusivement au régime de couple maxi.**

Les principaux paramètres moteur, éléments de comparaison sont :

- la Pme,
- le rendement effectif,
- le coefficient d'excès d'air,
- le rendement volumétrique,
- le remplissage en air standard.

Données :

Les résultats d'essai sont représentés sous forme de graphiques sur les documents réponses 3 et 4. Les caractéristiques du moteur et du carburant sont données document 2. La codification des abréviations est donnée document réponse 6.

Questions :

- 1.1- Montrer graphiquement sur le document réponse 3 que le régime de couple maxi est à 1750 tr.min⁻¹. Expliquer votre construction.
- 1.2- Représenter et déterminer graphiquement sur les documents réponses 3 et 4, les valeurs prises par les paramètres moteur suivant au régime de couple maxi :
 - puissance corrigée (PUCO),
 - température après échangeur (TAPE),
 - consommation spécifique corrigée (CSCO),
 - masse d'air admise (Qair sys),
 - pression après échangeur (PAPE).
- 1.3- **Détermination des paramètres moteur, éléments de comparaison** (régime de couple maxi). Utiliser les valeurs déterminées à la question 1.2.
 - 1.3.1- Calculer la valeur de la Pme.
 - 1.3.2- Calculer la valeur du rendement effectif.
 - 1.3.3- Coefficient d'excès d'air λ .
 - 1.3.3.1- Donner une définition du coefficient d'excès d'air λ .
 - 1.3.3.2- Calculer sa valeur.
 - 1.3.4- Rendement volumétrique.

Le rendement volumétrique η_{vol} d'un moteur est le rapport entre la masse d'air admise dans le cylindre et la masse d'air théoriquement admissible, compte tenue des conditions collecteur (après échangeur dans notre cas).

DOCUMENT 1.

$$\eta_{\text{vol}} = \frac{\text{masse d'air admise}}{V_u \cdot \rho_{\text{coll}}}$$

V_u : cylindrée unitaire du moteur.

ρ_{coll} : masse volumique de l'air dans le collecteur

- 1.3.4.1- Calculer la masse volumique de l'air après échangeur. On considère l'air comme un gaz parfait.
- 1.3.4.2- Calculer la masse d'air théoriquement admissible.
- 1.3.4.3- Calculer la valeur du rendement volumétrique (η_{vol}).

1.3.5- Calculer la valeur du remplissage en air standard (Ras).

Le remplissage en air standard d'un moteur est le rapport entre la masse d'air admise dans le cylindre et la masse d'air théoriquement admissible, compte tenue des conditions standards.

1.4-Analyse.

Pour la suite du problème nous prendrons pour les paramètres moteur, calculés à la question 1.3, les valeurs figurant en gras dans le tableau ci-dessous.

| Paramètres moteur (éléments de comparaison). | Pme maxi (bar). | Rendement effectif (%). | Coefficient d'excès d'air. | Rendement volumétrique (%). | Remplissage air standard. |
|--|--------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Moteur étudié. | 15.8 | 38.2 | 1.3 | 99 | 1.55 |
| Moteur récent (valeurs moyennes). | 20 | 40 | 1.3 | 99 | 1.95 |

- 1.4.1- - Expliquer (5 lignes maxi par réponse) en comparant ces deux moteurs:
 - 1.4.1-1. - Pourquoi la Pme du moteur étudié est plus faible (à couple moteur maxi identique) ?
 - 1.4.1-2. - Comment les constructeurs augmentent le Ras sur les nouveaux moteurs ?
 - 1.4.1-3. - Quel est l'intérêt d'augmenter la Pme ?

2^{ème} partie: Exploitation de résultats d'essai antipollution.

Objectif :

Le constructeur réalise un essai antipollution sur banc à rouleau. Il souhaite par cet essai se positionner par rapport à la norme EURO 4 et déterminer la consommation du véhicule sur cycle mixte (ECE + EUDC). Il s'est fixé, en terme de consommation, un objectif de 6 dm³/100km.

DOCUMENT 1.

Emissions de polluants du véhicule.

Données :

La norme antipollution EURO 4 et les résultats d'essai sont donnés documents 2 et 5.

Questions :

2.1- Compléter le tableau réponse 1 document réponse 5 en calculant :

2.1.1-les émissions massiques de polluants sur le cycle ECE (urbain),

2.1.2-les émissions massiques de polluants sur cycle EUDC (extra urbain),

2.1.3-les émissions massiques de polluants sur cycle mixte (ECE + EUDC).

Nota : certaines valeurs du tableau réponse 1 sont déjà renseignées.

2.2- Représenter sur le document réponse 6 :

2.2.1-les limites d'émission de la norme EURO 4,

2.2.2-les valeurs d'émission du véhicule sur cycle mixte (ECE + EUDC) déterminées précédemment (question 2.1.3).

2.3- Conclure sur la conformité du véhicule. Justifier en cinq lignes maxi votre réponse.

Consommation par bilan carbone.

Données :

Les caractéristiques du carburant et les résultats d'essai antipollution sont donnés documents 2 et 5.

La composition chimique des HC est supposée identique à celle du carburant consommé, c'est à dire $\text{CH}_{1.85}$. On néglige la masse de carbone contenue dans les émissions de particules.

| | | | |
|-------------------|--|---------------------|---|
| m_{carb} | masse de carburant consommée pendant le cycle mixte (g.km^{-1}) | $m_{\text{c carb}}$ | masse de carbone contenue dans m_{carb} (g.km^{-1}) |
| m_{CO_2} | émission massique de CO_2 sur le cycle mixte (g.km^{-1}) | $m_{\text{c CO}_2}$ | masse de carbone contenue dans m_{CO_2} (g.km^{-1}) |
| m_{HC} | émission massique de HC sur le cycle mixte (g.km^{-1}) | $m_{\text{c HC}}$ | masse de carbone contenue dans m_{HC} (g.km^{-1}) |
| m_{CO} | émission massique de CO sur le cycle mixte (g.km^{-1}) | $m_{\text{c CO}}$ | masse de carbone contenue dans m_{CO} (g.km^{-1}) |

DOCUMENT 1.

Questions :

- 2.4- **Calcul des masses de carbone émises sur cycle mixte**
(tableau réponse 2 document réponse 5).
- 2.4.1-Exprimer puis calculer la masse de carbone $m_{C_{CO}}$ contenue dans m_{CO} .
2.4.2-Exprimer puis calculer la masse de carbone $m_{C_{HC}}$ contenue dans m_{HC} .
2.4.3-Exprimer puis calculer la masse de carbone $m_{C_{CO_2}}$ contenue dans m_{CO_2} .
- 2.5- Exprimer la masse de carbone $m_{C_{carb}}$ contenue dans la masse de carburant m_{carb} consommée.
- 2.6- Déterminer la relation liant $m_{C_{carb}}$, $m_{C_{CO}}$, $m_{C_{HC}}$ et $m_{C_{CO_2}}$.
- 2.7- Déterminer la relation liant m_{carb} , m_{CO} , m_{HC} et m_{CO_2} .
- 2.8- Compléter le tableau réponse 2 document 5 en calculant la masse de carburant m_{carb} consommée.
- 2.9- Exprimer puis calculer la consommation du véhicule en $dm^3/100km$.
- 2.10- Conclure sur l'objectif fixé par le constructeur.

3^{ème} partie: Optimisation des fumées sur un point de fonctionnement moteur.

Objectif :

Afin de satisfaire les normes antipollution le constructeur souhaite optimiser certains points de fonctionnement moteur. Dans un premier temps il souhaite optimiser le point de fonctionnement 2250 tr.min⁻¹ - 246 Nm de couple corrigé.

Cahier des charges :

Le choix du point de fonctionnement optimal est conditionné par les contraintes suivantes :

- fumées mini,
- rendement effectif maxi,
- pression cylindre maxi ≤ 140 bar,
- pression après échangeur maxi ≤ 1037 mbar,
- température échappement maxi ≤ 740 °C
- température après compresseur maxi ≤ 145 °C

Données :

Les résultats d'essai et la codification des abréviations sont donnés documents réponses 6 et 7.
Et pour information, la procédure d'essai est modélisée document 8.

DOCUMENT 1.

Questions :

3.1- Avance principale ABHE avant optimisation (réglage initial).

- 3.1-1. A partir du tableau résultats d'essai (document réponse 6) calculer le débit volumique de carburant DEBV ($\text{mm}^3 \cdot \text{cycle}^{-1} \cdot \text{cyl}^{-1}$).
- 3.1-2. Tracer par interpolation l'iso débit DEBV calculé en 3.1-1 sur le document réponse 7 (graphique DEBV), compte tenu de la valeur PAPE du document 6.
- 3.1-3. En déduire l'avance principale ABHE avant optimisation (réglage initial).
- 3.1-4. Placer le point de fonctionnement « ABHE,PAPE » ainsi déterminé sur les cinq autres graphiques du document.
- 3.1-5. En exploitant les documents réponses 6 et 7 et la CSO (valeur à calculer), vérifier que la valeur de l'avance principale ABHE avant optimisation correspond à celle trouvée à la question 3.1-3.

3.2- Optimisation du point de fonctionnement moteur 2250 tr.min⁻¹- 246 Nm de couple corrigé.

- 3.2-1. A partir du cahier des charges, griser (colorier) pour chaque graphique (document réponse 7) les domaines « ABHE,PAPE » de fonctionnement exclus s'ils sont visibles sur les graphes.
- 3.2-2. En déduire la zone de fonctionnement « ABHE,PAPE » de fumées mini par construction graphique.
- 3.2-3. En déduire la zone de fonctionnement « ABHE,PAPE » de rendement effectif maxi par construction graphique.
- 3.2-4. Choisir le nouveau point de fonctionnement optimisé « ABHE,PAPE » satisfaisant le cahier des charges.

3.3- Conclusion.

Exprimer en pourcentage, par rapport au réglage initial, les gains ainsi obtenus sur les fumées et le rendement effectif.

DOCUMENT 2.

Caractéristiques moteur :

- Type : 4 temps Diesel
- Nombre de cylindres : 4
- Alésage : 85 mm
- Course : 88 mm
- Rapport volumétrique : 17,6/1

Caractéristiques du carburant :

- $C.H_{1,85}$
- $P_{ci} = 42400 \text{ kJ.kg}^{-1}$
- $P_{co} = 14,57$
- $\rho_{carb} = 0,842 \text{ kg.dm}^{-3}$

Conditions d'essai :

- $P_{atm.} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
- $T_{atm.} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Conditions standards :

- $P_{stand. air} = 10^5 \text{ Pa}$
- $T_{stand. air} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Masse volumique air $\rho_{stand.} = 1,169 \text{ g.dm}^{-3}$

Constantes :

- Masses molaire : C = 12 g/mol, O = 16 g/mol, N = 14 g/mol, H = 1 g/mol
- $r_{air} = 287 \text{ J.(kg.K)}^{-1}$

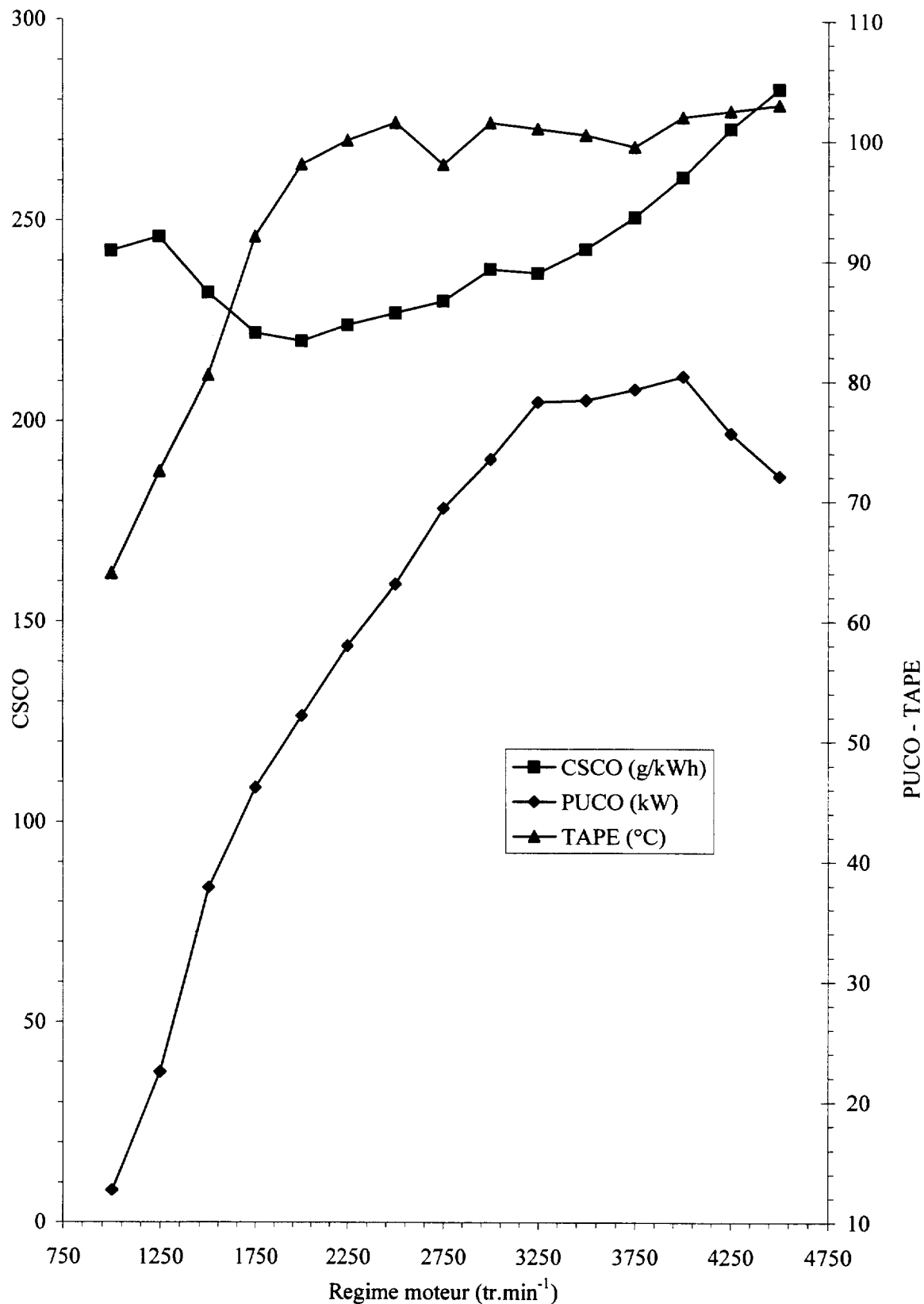
Normes antipollution.

VP et VU $\leq 3,5$ tonnes

| Emission polluants (g.km^{-1}) ECE + EUDC | | | | | |
|---|------|----|------|----------|------------|
| | CO | HC | NOx | HC + NOx | PARTICULES |
| L5 EURO 4 | 0,50 | - | 0,25 | 0,30 | 0,025 |

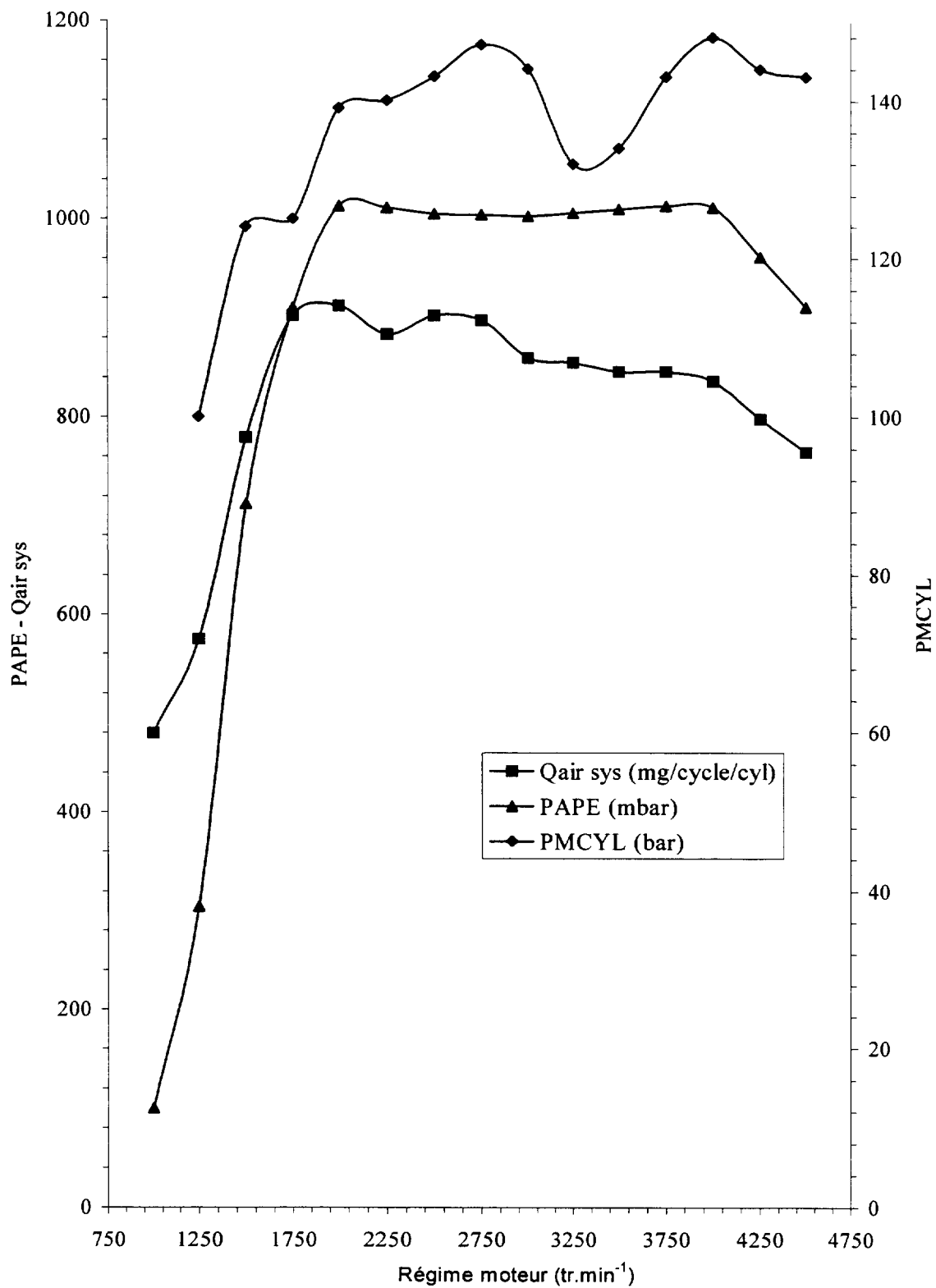
DOCUMENT REPONSE 3.
(A RENDRE AVEC LA COPIE)

Résultats d'essai.



DOCUMENT REPONSE 4.
(A RENDRE AVEC LA COPIE)

Résultats d'essai.



DOCUMENT REPONSE 5
(A RENDRE AVEC LA COPIE)

Résultats d'essai antipollution.

| ESSAI ANTIPOLLUTION : DIESEL Norme L5 – EURO 4 / Parcours : ECE + EUDC. | | | | |
|--|---------------|---------------------------|----------|---------|
| Conditions de mesure | | | ECE | EUDC |
| Pression atmosphérique (mmHg) : | 733.8 | Distance théorique (km) : | 4.052 | 6.955 |
| Température ambiante (°C): | 21.2 | Distance réelle (km) : | 4.042 | 6.930 |
| Humidité relative (%) : | 54.8 | Volume CVS corrigé (m³) : | 144.740 | 74.201 |
| Humidité relative (g d'eau /kg d'air sec) : | 8.87 0.943 | | | |
| Coefficient Nox : | | | | |
| Banc à rouleau : | | | | |
| Loi de route N° : | 0 | Forces à la jantes (N) | 50 km/h | 9.5 N |
| Inertie (kg) | 1360 | | 80 km/h | 118.0 N |
| | | | 120 km/h | 340.0 N |

Emissions massiques de polluants par cycle.

| Émissions massiques (g.cycle ⁻¹) | Polluants | | | | | |
|---|-----------|-------|-------|----------|-----------------|------------|
| | CO | HC | NOx | HC + NOx | CO ₂ | Particules |
| ECE (g.cycle ⁻¹) | 0.795 | 0.183 | 1.660 | 1.843 | 954.4 | 0.124 |
| EUDC (g.cycle ⁻¹) | 0.019 | 0.037 | 2.159 | 2.196 | 919.8 | 0.234 |

TABLEAU REPONSE 1.

| Émissions massiques. de polluants. | Polluants | | | | | |
|---|--------------|-------------|-----|----------|-----------------|---------------|
| | CO | HC | NOx | HC + NOx | CO ₂ | Particules |
| Cycle urbain : ECE (g.km ⁻¹) | | | | | | |
| Cycle extra urbain : EUDC (g.km ⁻¹) | | | | | | 0.0338 |
| Cycle mixte : (ECE + EUDC) (g.km ⁻¹) | 0.074 | 0.02 | | | 170.82 | |

TABLEAU REPONSE 2.

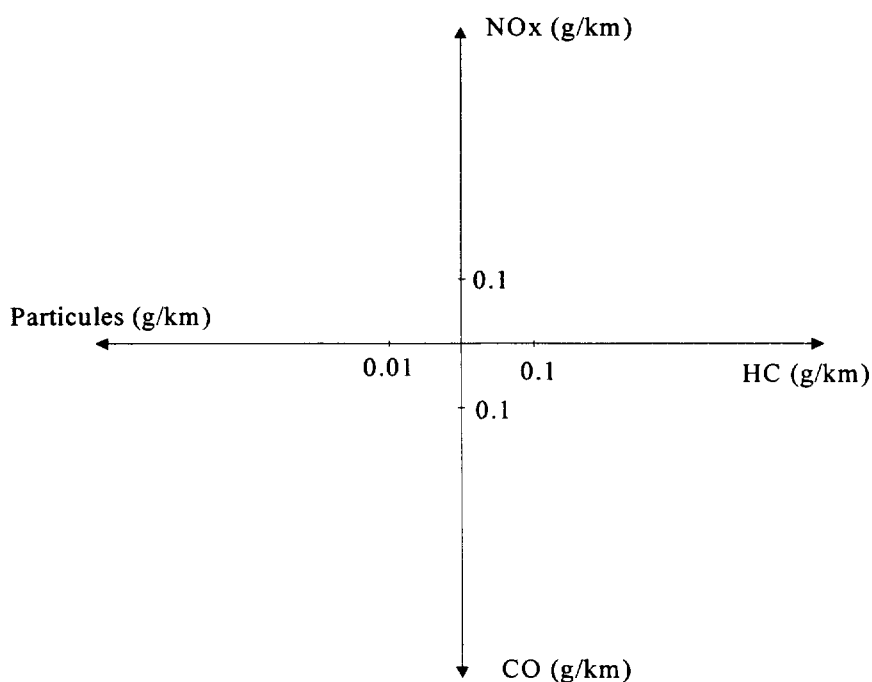
| Polluants | CO | HC | CO ₂ |
|--|--------------|-------------|-----------------|
| Émissions massiques de polluants sur cycle mixte (ECE + EUDC) (g.km ⁻¹). | 0.074 | 0.02 | 170.82 |
| Masses de carbone émises sur cycle mixte (ECE + EUDC) (g.km ⁻¹). | | | |
| Masse de carburant consommée sur cycle mixte (g.km ⁻¹). | | | |

DOCUMENT REPONSE 6.
(A RENDRE AVEC LA COPIE)

Abréviations.

ABHE : avance principale (Vilebrequin),
CSCO : consommation spécifique corrigée ($\text{g.}(\text{kW.h})^{-1}$),
DEBV : débit volumique de carburant ($\text{mm}^3 \cdot \text{cycle}^{-1} \cdot \text{cyl}^{-1}$),
PAPE : pression relative après échangeur (mbar),
PMCYL : pression maxi cylindre (bar),
PUCO : puissance corrigée (kW),
Qair sys : masse d'air admise ($\text{mg} \cdot \text{cycle}^{-1} \cdot \text{cyl}^{-1}$),
SMKS : fumées (unité BOSCH),
TAPC : température après compresseur ($^{\circ}\text{C}$),
TAPE : température après échangeur ($^{\circ}\text{C}$),
TECH : température échappement ($^{\circ}\text{C}$),

Limites d'émissions de polluants : norme L5 – EURO 4.

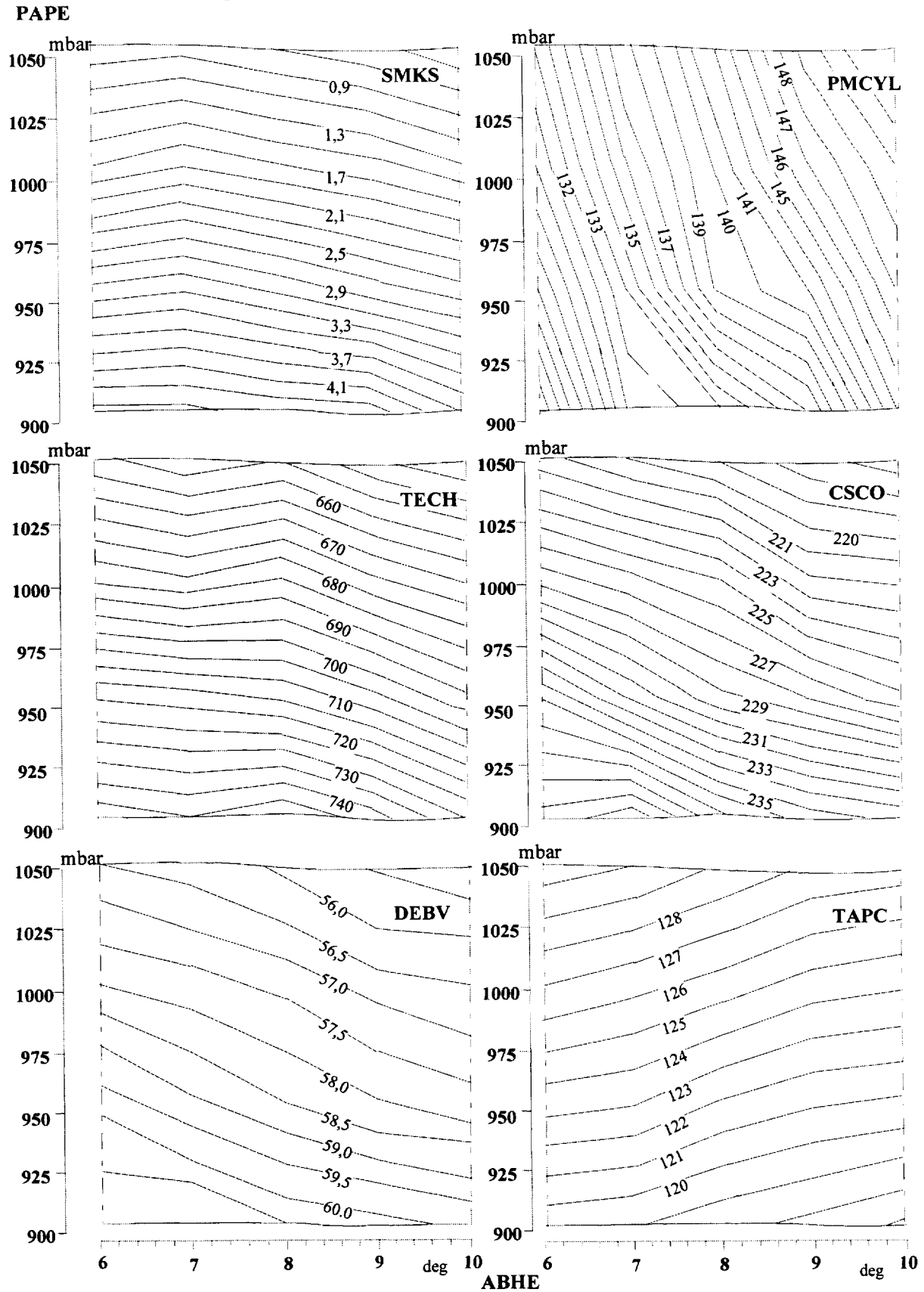


Résultats d'essai (réglage initial).

| Régime moteur (tr.mn^{-1}) | Couple corrigé (Nm) | PAPE (mbar) | Débit carburant (g.min^{-1}) |
|---------------------------------------|---------------------|-------------|---|
| 2250 | 246 | 1012 | 216.4 |

DOCUMENT REPONSE 7.
(A RENDRE AVEC LA COPIE)

Résultats d'essai : Iso régime 2250 tr.min⁻¹ - couple corrigé 246Nm



DOCUMENT 8.

Procédure d'essai (balayage ABHE, PAPE).

