

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

MOTEURS À COMBUSTION INTERNE

SESSION 2006

ÉTUDE DES MOTEURS

U 52 ÉTUDE ET ANALYSE DES 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 : documents réponses 1, 2, et 3.

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

Le sujet comporte 22 pages, numérotées de 1/22 à 22/22.

CODE ÉPREUVE : 0606MOE5EAM		EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : MOTEURS À COMBUSTION INTERNE	
SESSION 2006	SUJET	ÉPREUVE : ÉTUDE DES MOTEURS ÉTUDE ET ANALYSE DES MOTEURS – U 52			
Durée : 3h	Coefficient : 3	Code sujet : 19NB05		Page : 1/22	

PRÉSENTATION

Il est conseillé de lire attentivement et complètement le sujet avant de commencer à répondre.

Une société de rénovation moteur a besoin d'un banc d'essai dédié à une famille de moteur Diesel 4 cylindres.

Ce banc est destiné à effectuer :

- des essais d'étalonnage pleine charge des moteurs échange standard (essais ponctuels suivant un prélèvement statistique sur chaîne de rénovation) ;
- des essais de validation de composants dont la définition technique, ou le fournisseur, a changé.

L'entreprise a décidé de procéder à la rénovation et à l'adaptation d'un banc d'essai moteur existant.

L'étude qui suit porte sur :

Partie A : un pré - dimensionnement de certains éléments de la cellule d'essai pour le type de moteur considéré : le frein électrique, l'échangeur eau / eau du système de refroidissement d'eau moteur et le système de soufflage / extraction d'air de la cellule d'essais;

Partie B : l'étude du système de régulation en température d'eau moteur (les essais d'étalonnage à pleine charge s'effectuant en régulant la température d'eau sortie moteur à 90°C).

Les deux parties sont indépendantes.
Chacune des deux parties sera rédigée sur des copies distinctes.
Répondre aux questions sur copie sauf indication contraire.

Temps conseillé :

- Lecture du sujet : 15 minutes
- Partie A : 2 heures
- Partie B : 45 minutes

COMPOSITION DU SUJET

Énoncé :

- Partie A : pages 4 à 8
- Partie B : pages 9 et 10

Documents techniques : (pages 11 à 19)

- Document Technique 1 : Caractéristiques moteur.
- Document Technique 2 : Résultats d'essai à pleine charge.
- Document Technique 3 : Caractéristiques des fluides moteur et de la cellule d'essai.
Évolution du bilan thermique sur l'essai pleine charge.
- Document Technique 4 : Description et caractéristiques de l'échangeur eau/eau à tubes.
- Document Technique 5 : Ventilation de la cellule d'essais.
- Document Technique 6 : Caractéristiques de perte de charge de la cellule.
- Document Technique 7 : Schématisation hydraulique et lexique pour la macro.
- Document Technique 8 : Caractéristiques des sondes de température et de la régulation d'eau.
- Document Technique 9 : Résultats des différentes configurations de coefficients PID.

Documents réponses : (pages 20 à 22)

- **Document réponse 1 : Caractéristiques de la machine de charge.**
- **Document réponse 2 : Caractéristiques du ventilateur V2.**
- **Document réponse 3 : Schéma hydraulique à compléter.**

PARTIE A : Pré - dimensionnement de certains éléments de la cellule d'essai.

Durée conseillée : 2 heures.

Partie A : Les objectifs de cette 1^{ère} partie sont :

- de prendre connaissance des résultats d'essai d'étalonnage à pleine charge du moteur et de déterminer le bilan thermique au point 4000 tr.min^{-1} – pleine charge;
- d'effectuer un pré dimensionnement de certains éléments de la cellule d'essai :
 - le frein électrique,
 - l'échangeur eau / eau du système de refroidissement d'eau moteur,
 - le système de soufflage / extraction d'air de la cellule d'essais.

Les sous - parties A1/, A2/, A3/ et A4/ sont indépendantes.

A1/ Calculs préliminaires

Prenez connaissance des caractéristiques moteur (document technique 1), des résultats d'essai à pleine charge (document technique 2) et des caractéristiques du carburant (document technique 3).

A1.1/ Caractéristiques de fonctionnement du moteur

**Tous les calculs qui suivent se feront au point de fonctionnement :
 4000 tr.min^{-1} – pleine charge.**

A1.1.a/ À partir des résultats d'essai et des caractéristiques du carburant, déterminez le dosage réel d , la richesse de fonctionnement R et l'excès d'air λ .

A1.1.b/ À partir des résultats d'essai, déterminez le débit massique d'air admis Q_{mair} (kg.h^{-1}).

A1.1.c/ De même, déterminez le débit massique de carburant Q_{mcarb} (kg.h^{-1}).

A1.1.d/ Enfin, déterminez la Consommation Spécifique Effective (CSE) ($\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$).

A1.2/ Bilan thermique moteur sur un point de fonctionnement

**Le bilan thermique du moteur étudié sera établi au point de fonctionnement :
4000 tr.min⁻¹ – pleine charge.**

Les caractéristiques des fluides (air, carburant, gaz d'échappement et liquide de refroidissement moteur) nécessaires aux calculs suivants sont données sur les documents techniques 2 et 3.

A1.2.a/ Donnez l'expression de la puissance introduite P_{intro} (appelée aussi puissance chimique contenue dans le carburant) en fonction du débit massique de carburant; vous indiquerez la signification et l'unité de chaque terme utilisé.
Calculez la puissance introduite P_{intro} (en W).
Pour la suite du problème on prendra $P_{\text{intro}} = 267 \text{ kW}$.

A1.2.b/ Donnez l'expression de la puissance dissipée dans le radiateur d'air de suralimentation P_{RAS} en indiquant la signification et l'unité de chaque terme utilisé ; calculez la puissance dissipée dans le radiateur d'air de suralimentation P_{RAS} (en W).

A1.2.c/ Donnez l'expression de la puissance dissipée dans le radiateur d'eau de refroidissement P_{eau} en indiquant la signification et l'unité de chaque terme utilisé ; calculez la puissance dissipée dans le radiateur d'eau de refroidissement P_{eau} (en W).

A1.2.d/ Donnez l'expression de la puissance calorifique perdue à l'échappement P_{ech} en indiquant la signification et l'unité de chaque terme utilisé ; on négligera le débit de carburant par rapport au débit d'air ; calculez la puissance calorifique perdue à l'échappement P_{ech} (en W) en prenant comme référence la température d'air à l'entrée du filtre.

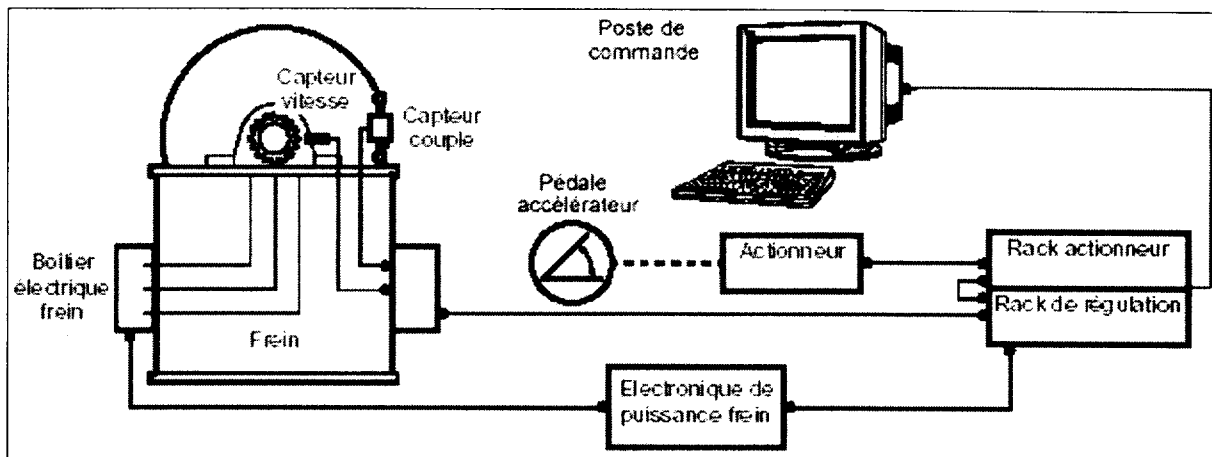
A1.2.e/ Donnez l'expression de la puissance chimique perdue à l'échappement P_{chim} en fonction de E_{HC} et E_{CO} ; vous indiquerez la signification et l'unité de chaque terme utilisé ; calculez cette puissance P_{chim} (en W).

A1.2.f/ Par un bilan thermique, vérifiez à partir de ce qui précède que la puissance dissipée par l'air $P_{(\text{ray}+\text{conv})}$ (rayonnement + convection) est de l'ordre de 47 kW.

A2/ Adéquation frein électrique / moteur

En première approche, ont été retenus au niveau du frein et de sa commande de puissance électrique :

- un frein à courant de Foucault dont les caractéristiques sont données sur le **document réponse 1**.
- une unité électronique de puissance limitant le couple maximum de charge à 400 N.m.



Synoptique du système de contrôle du frein

A2.1/ Tracez sur le **document réponse 1**, les limites d'utilisation du frein compte tenu de l'unité électronique de puissance limitant le couple maximum de charge à 400 N.m.

A2.2/ Positionner la courbe de couple moteur sur le **document réponse 1**, par un choix judicieux de 5 points du **document technique 1**. L'ensemble frein + unité de puissance retenu vous semble-t-il correctement dimensionné vis-à-vis du moteur ? Justifiez votre réponse (3 lignes maximum).

A3/ Dimensionnement de l'échangeur eau / eau

Le refroidissement du liquide de refroidissement moteur est assuré par un échangeur de chaleur eau / eau à tubes (voir description et caractéristiques sur document technique 4).

Les caractéristiques des fluides circulant dans l'échangeur sont :

Eau moteur à 4000 tr/min – pleine charge :

- température eau sortie moteur: $T_s \text{ moteur} = 90^\circ\text{C}$,
- température eau entrée moteur: $T_e \text{ moteur} = 81,8^\circ\text{C}$,
- débit d'eau moteur : $Q_{\text{eau moteur}} = 4,12 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (coté calandre).

Eau de refroidissement banc :

- Teau banc entrée échangeur : $t_e = 35^\circ\text{C}$ (valeur maximale),
- Teau banc sortie échangeur : $t_s = 80^\circ\text{C}$ (valeur maximale),
- débit d'eau banc : $Q_{\text{eau banc}} = 150 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ maxi (coté tubes).

Dans ce qui suit, la puissance thermique à évacuer dans le circuit d'eau moteur à 4000 tr/min – pleine charge sera prise égale à 40 kW.

A3.1/ Calculer le coefficient d'échange global thermique k .

A3.2/ Calculer le ΔT moyen (ΔT_{moy}) dans l'échangeur.

A3.3/ En exploitant les 2 résultats précédents calculer la surface d'échange de l'échangeur S (en m^2) minimale à retenir.

A3.4/ À l'aide du tableau du document technique 4, déterminez la famille d'échangeur, à simple passage, à faisceau en cuivre (Cu) à retenir. Expliquer votre démarche.

A4/ Ventilation de la cellule d'essai

L'objet de cette partie est de dimensionner les composants de ventilation de la cellule moteur pour garantir la tenue du cahier des charges.

La ventilation est assurée par un flux d'air prélevé à l'extérieur du bâtiment (voir schéma de ventilation de la cellule sur *document technique 5*). L'air est insufflé dans la cellule à l'aide d'un ventilateur V1. Un second ventilateur V2 extrait l'air chaud de la cellule et le rejette à l'atmosphère.

L'air comburant (régulé en température) est acheminé vers le moteur via une gaine d'alimentation spécifique qui libère l'air comburant à quelques centimètres du col d'entrée d'air du moteur.

Les gaz d'échappement sont évacués par un aspirateur. Lors de l'extraction des gaz, une partie de l'air de la cellule est emmenée dans le flux et sert à refroidir les gaz d'échappement.

A4.1/ Puissance thermique émise par rayonnement

A4.1.a/ À partir du bilan thermique figurant sur le *document technique 5* et en prenant une puissance maximale admissible du frein de 220 kW, calculer (en kW), la puissance chimique maximale introduite.

En déduire la puissance thermique émise par rayonnement.

Pour la suite du problème on prendra une puissance thermique émise par rayonnement de 100 kW.

A4.2/ Débit d'air soufflé

On veut garantir que la température de la cellule n'excède pas la température ambiante maximale extérieure de plus de 8°C.

A4.2.a/ Calculez le débit volumique d'air de ventilation (en m³/h) dans les conditions extrêmes pour garantir le respect de cette exigence. On désignera par "**Q1**" ce débit.

A4.3/ Débit d'air aspiré

On appellera "**Q2**" le débit du ventilateur d'extraction V2.

On appellera "**Q3**" le débit d'extraction des gaz d'échappement.

On appellera "**Q4**" le débit d'air comburant acheminé au moteur.

A4.3.a/ Établissez la relation littérale existante entre Q1, Q2, Q3, Q4.

On fera l'hypothèse que la masse volumique de l'air est identique pour chaque poste.

A4.3.b/ Calculez Q2.

A4.4/ Ventilateurs de soufflage et d'extraction

Pour la suite du problème on prendra $Q_2=36000\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ dans les conditions représentées pour le ventilateur V2 (15°C, 760 mmHg).

Le tableau A représenté sur le *document technique 6* indique la perte de charge de la cellule en fonction du débit d'air qui la traverse pour le cas où V1 ne fonctionne pas.

On souhaite maintenir une dépression de la cellule de 15 mbar.

A4.4.a/ Justifiez la mise en dépression de la cellule.

A4.4.b/ Sur le *document réponse 2*, tracez en **pointillés** la caractéristique de perte de charge de la cellule (tableau A du *document technique 6*), puis indiquez le point de fonctionnement P1 du ventilateur V2 pour le débit exigé (dans le cas où V1 ne fonctionne pas).

A4.4.c/ Déterminez graphiquement le régime de rotation N du ventilateur V2 et la dépression cabine atteinte (P1) dans le repère (débit, pression). Le cahier des charges est-il satisfait ? Justifiez votre réponse.

On assimile maintenant la mise en place du ventilateur V1 comme une modification de la perte de charge de la cellule. La nouvelle caractéristique (Perte de charge de la cellule + ventilateur V1) est représentée par le tableau B du *document technique 6*.

A4.4.d/ Sur le *document réponse 2*, tracez en **trait continu** la nouvelle caractéristique de perte de charge de la cellule (cas où V1 fonctionne). Indiquez le point de fonctionnement P2 à pour le même débit exigé.

A4.4.e/ Déterminez graphiquement le régime de rotation N' du ventilateur V2 et la dépression cabine atteinte (P2) dans le repère (débit, pression). Le cahier des charges est-il satisfait ? Justifiez votre réponse. Concluez sur l'intérêt d'avoir mis en place le ventilateur V1.

PARTIE B : Étude de la régulation de la température eau moteur

Durée conseillée : 45 minutes

Mise en situation

Le moteur Diesel est installé dans une cellule dans laquelle l'eau de ce moteur est refroidie par un échangeur eau/eau. La régulation de la température de l'eau se fait par rapport à la température de sortie moteur. Vous allez étudier le circuit d'eau, déterminer la sonde de température et le bon réglage du régulateur.

Cahier des charges

La lecture du cahier des charges montre qu'on souhaite obtenir les paramètres suivants:

Moteur

- Température eau régulée sortie moteur : 95°C
- Régime de puissance maxi.
- Pleine charge

Régulation

- Type de régulateur : P.I.D.
- Tolérance de régulation de la T_{seau} en stabilisé : +/- 2°C.
- Durée d'Overshoot/Undershoot (*): <90s.
- Durée d'instabilité <60s.
- Durée d'entrée dans la plage stabilisée <120s.
- over/undershoot (*) +/- 3°C.
- Vanne de régulation : 4-20mA/ 0-100%.
- Le réglage du régulateur se fait en faisant une variation de la température de l'eau sortie moteur de 85°C à 95°C.

(*) Dépassement transitoire (positif ou négatif). Voir Document technique 8 : caractéristiques de la régulation.

B1/ Étude du circuit d'eau

B1.1/ À l'aide du document technique 7, complétez le schéma hydraulique sur le **document réponse 3** ; vous indiquerez en bleu le circuit extérieur, en rouge le circuit du moteur et le sens de circulation des fluides.

B1.2/ Quel est le rôle des vannes V1 et V2, et V3 ?

B1.3/ Afin d'utiliser un régulateur, il faut implanter une sonde de température sur le circuit. Indiquez l'emplacement de cette sonde par le symbole (T) sur le circuit hydraulique du **document réponse 3**.

B2/ Choix de la sonde de température

B2.1/ Indiquez ce qui différencie dans le principe une sonde PT100 et un thermocouple.

B2.2/ À l'aide du *document technique 8*, choisissez la sonde que vous y implanterez.
Justifiez votre choix

B3/ Étude du régulateur

B3.1/ Que signifie « P.I.D » et quelles sont les qualités attendues d'un tel régulateur ?

B3.2/ À l'aide du *document technique 8* et d'après les résultats du *document technique 9*, justifiez pourquoi on retiendra la configuration 3.