

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

MOTEURS À COMBUSTION INTERNE

Session 2006

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 : DR1 page 8/16
DR2 page 13/16
DR3 page 14/16
DR4 page 15/16
DR5 page 16/16

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

Le sujet comporte 16 pages numérotées de la façon suivante :
Pages 0 à 1 : page de garde et informations diverses
Pages 2 à 7 : présentation et texte du sujet
Pages 9 à 12 : documents techniques notés DT
Pages 8, 13, 14, 15 et 16 : documents réponses notés DR

CODE ÉPREUVE : 0606MOE5EEM		EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR	SPÉCIALITÉ : MOTEURS À COMBUSTION INTERNE
SESSION 2006	SUJET	ÉPREUVE : ÉTUDE DES MOTEURS EXPLOITATION D'ESSAIS MOTEURS U51	
Durée : 3 h	Coefficient : 3		Code sujet : 172NB05 Page 0/16

Le sujet complet est composé de 16 pages :

- Pages 2 à 7, les informations et les questions.
- Pages 9, 10, 11 et 12, les documents techniques notés DT (fiches d'essais contenant les valeurs mesurées).
- Pages 8, 13, 14, 15 et 16, les documents réponses notés DR qui contiennent des résultats d'essais mis en forme ou des aides pour organiser vos réponses. Ces documents sont à compléter.

Les documents suivants sont donc à rendre avec votre copie **même si vous ne les avez pas renseignés** :

- Page 8/16 (DR1)
- Page 13/16 (DR2)
- Page 14/16 (DR3)
- Page 15/16 (DR4)
- Page 16/16 (DR5)

Soit 5 feuilles en tout extraites du sujet.

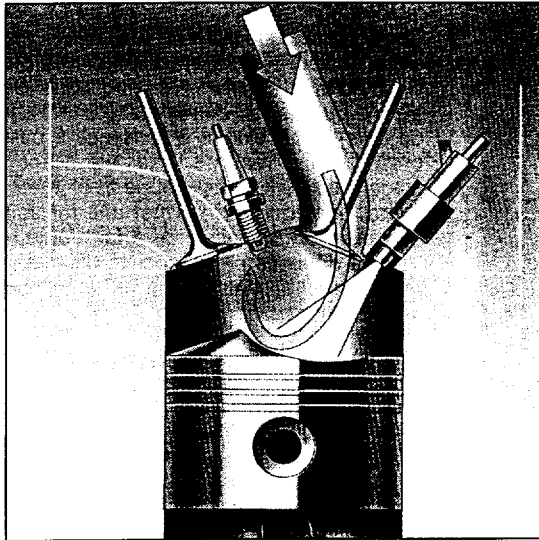
Il est conseillé de consacrer **15 mn** à la lecture complète du sujet puis de répartir votre temps de travail comme suit :

- **50 mn** pour la partie 1 : 1-1 ; 1-2 ; 1-3
-
- **30 mn** pour la partie 2 : 2-1 ; 2-3 ; 2-2 ; 2-4
-
- **40 mn** pour la partie 3 : 3-1 ; 3-2 ; 3-3
-
- **45 mn** pour la partie 4 : 4-1 ; 4-2 ; 4-3

Le regroupement de 2 questions dans un cadre signifie que la première doit être traitée avant de répondre à la seconde, toutes les autres questions sont totalement indépendantes et peuvent être traitées dans l'ordre de votre choix pourvu que vous en fassiez une nomenclature rigoureuse sur votre copie.

Le moteur et les essais réalisés : présentation.

L'étude qui suit s'appuie sur des résultats d'essais obtenus à partir d'un moteur à INJECTION DIRECTE ESSENCE . Ce moteur est un 4 cylindres de **1830 cm³** capable de fonctionner en mélange très pauvre grâce à la maîtrise de la technique de "**charge stratifiée**". Ces essais sont réalisés dans un objectif d'analyse concurrence pour estimer les gains apportés dans cette catégorie de cylindrée par l'injection directe et pour examiner les stratégies adoptées pour cette réalisation commerciale.



Pour cette application la stratification de la charge est obtenue par la disposition du conduit d'admission qui produit un fort *tumble* dit "inverse" et par la forme du bol du piston qui guide le jet jusqu'à proximité de la bougie. L'injection se produit donc à la fin de la phase compression et nécessite une pression d'injection de l'ordre de 40 bar.

Cette stratification ne concerne qu'une partie réduite du domaine d'utilisation du moteur. Dans les zones à charge non stratifiée l'injection se déroule durant toute la phase admission. Le mélange, brassé pendant la compression est alors homogène à l'instant de l'allumage (il peut néanmoins être pauvre, stœchiométrique ou riche).

L'étude qui suit se propose d'examiner l'apport de cette stratégie sur les caractéristiques du moteur (principalement sur le rendement effectif) et sur les performances du véhicule qui en est équipé (consommation kilométrique et émissions polluantes).

- Les résultats d'essais fournis s'appuient sur 64 points d'essai (DR1 page 8/16) positionnés sur 7 iso-vitesses, ce qui balaie tout le champ d'utilisation de ce moteur.
- Lorsqu'il sera fait référence, dans ce sujet, à un essai sous la forme (3000,3) par exemple, il faudra lire : "tableau des résultats de l'iso-vitesse 3000tr/mn ; colonne 3 bar de Pme" pour trouver les relevés correspondants.

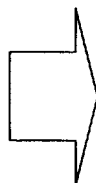
1. Identification des différentes stratégies de gestion de la richesse

(documents à utiliser DR1, DT1, DT2 et DR4)

Objectif : Observer de manière globale les résultats d'essais et repérer les grandeurs significatives pour « prendre en main le sujet ».

Les stratégies de contrôle moteur permettent de réaliser différents types de gestion de la combustion :

- ✓ en mélange stœchiométrique
- ✓ en mélange riche
- ✓ en mélange très pauvre stratifié
- ✓ en mélange pauvre homogène



Sur le DR1 les différentes zones correspondant à ces 4 situations de mélange sont définies par les frontières portées en pointillés.

- Ⓜ **Question 1-1 :** Pour l'iso-régime 3000 tr/mn (DT2), complétez le document réponse DR4 (page 15/16) en énonçant les valeurs (ou les domaines caractéristiques) de chacun des réglages tels que : richesse, phasage injection, commande EGR et des valeurs mesurées telles que teneur en CO₂ et O₂. Identifiez à la fin, dans la dernière colonne, le type de mélange réalisé dans chaque zone et,
- Commentez les valeurs pour la zone de charge stratifiée en justifiant les différences principales par rapport aux charges homogènes (5 à 6 lignes sur DR4).

Mesure de la richesse (document à utiliser DT1).

Objectif : les valeurs inhabituelles de richesse (ces essais atteignent des dosages de l'ordre de 1/45) amènent à contrôler la fiabilité des informations données par les sondes de richesse à partir des émissions mesurées. Voici une manière de réaliser ce calcul :

- Un dosage $M_{\text{carburant}}/M_{\text{air}}$ définit également un rapport $M_{\text{carbone}}/M_{\text{azote}}$ dans l'hypothèse où le carbone est dans le carburant seul et l'azote seulement présent dans l'air.
- Ce rapport est strictement proportionnel au dosage ce qui permet d'écrire que la richesse $\varnothing = (M_{\text{carburant}}/M_{\text{air}})_{\text{réalisé}} / (M_{\text{carburant}}/M_{\text{air}})_{\text{stoechiométrique}}$ est donc également définie par $\varnothing = (M_{\text{carbone}}/M_{\text{azote}})_{\text{réalisé}} / (M_{\text{carbone}}/M_{\text{azote}})_{\text{stoechiométrique}}$.

- Ⓜ **Question 1-2 :** Une démarche vous est proposée pour recalculer, par le principe énoncé ci-dessus, la richesse à partir des concentrations des produits à l'échappement pour le point (2000,3).
- Calculez $(M_{\text{carbone}}/M_{\text{azote}})_{\text{stoechiométrique}}$ à partir des quantités de réactifs en présence lors d'une réaction stoechiométrique (vous n'êtes pas obligé d'écrire la réaction complète équilibrée).
Le carburant d'essai est défini pour $y = 1,826$ et un $P_{\text{co}} = 14,53$; l'air par $(\text{O}_2 + 3,78 \text{ N}_2)$.
 - Calculez $(M_{\text{carbone}}/M_{\text{azote}})_{\text{réalisé}}$ à partir des concentrations des produits de combustion contenant du carbone (CO₂, CO et HC) dont les concentrations ont été mesurées. La concentration en azote sera déduite par soustraction sachant

que les valeurs sont données en extrait sec et que les teneurs de H₂ sont négligées.

- Calculez la richesse définie par les émissions.

Les masses molaires M_{carbone} = 12g/mole ; M_{azote} = 14g/mole ; M_{oxygène} = 16g/mole ; M_{hydrogène} = 1g/mole

® **Question 1-3** : Analyse des résultats :

- Présentez les résultats sur votre copie sous forme d'un tableau comme proposé ci-dessous.
- Ajoutez dans ce récapitulatif la richesse calculée à partir du rapport Débit essence/Débit d'air admis (qui sont donnés par la fiche d'essai).

%CO ₂ mesuré =	Conditions d'essai (N,Pme)	(2000,3)
%CO mesuré =	Richesse moyenne 4 sondes	
%O ₂ mesuré =	Richesse sonde ligne d'échappement	
%CH _y mesuré =	richesse calculée par les émissions	
%N ₂ calculé =	Richesse calculée par les débits	

- Comparez les différents moyens d'évaluation de la richesse et commentez les écarts sur les valeurs obtenues.
- Le CO₂ présent dans l'air (voir DT1) peut-il influencer les mesures ou les calculs de richesse ? La valeur du taux d'EGR a-t-elle une influence ?
- Exprimez (en 2 à 3 lignes) vos conclusions sur la validité de la mesure.

2. Analyse des pertes par pompage (documents à utiliser DT1, DR2, DR3)

Objectif : le fonctionnement en charge stratifiée a pour but de réduire les pertes par pompage du cycle moteur. À partir des données présentes dans les relevés d'essai, nous pouvons estimer les valeurs des $P_{mi_{BP}}$ et réaliser une première analyse.

Ces pertes sont estimées par la pression moyenne indiquée "basse pression" telle que $P_{mi} = P_{mi_{HP}} - P_{mi_{BP}}$. Les valeurs P_{mi} et $P_{mi_{HP}}$ sont calculées à partir des diagrammes pression/volume relevés dans la chambre de combustion. Le document DR2 (page 13/16) rassemble les valeurs des $P_{mi_{BP}}$ exprimées en fonction de la pression tubulure entre papillon et soupape (notée P_{tub} et exprimée en pression absolue).

® **Question 2-1** : Isolez les points correspondant à $N = 2000$ tr/mn et tracez une droite de tendance pouvant rendre compte de la relation $P_{mi_{BP}} = f(P_{tub})$ (ajustement graphique "au jugé").

En exprimant la fonction $P_{mi_{BP}} = K.P_{tub} + B$, évaluez la valeur de K.

® **Question 2-2** : Justifiez la tendance générale de l'ensemble des points portés sur le DR2 (4 à 5 lignes + un croquis si nécessaire).

Pourquoi l'évolution de la $P_{mi_{BP}}$ à haut régime est-elle différente de celle à bas régime ? (tracez par exemple la droite moyenne des points à 4500 tr/mn pour étayer votre raisonnement).

- ① **Question 2-3** : Estimez l'augmentation de P_{tub} due à l'utilisation de la charge stratifiée en mélange pauvre (par rapport à une situation stœchiométrique) pour ce faire, sur le (DR3 page 14/16) :
- Positionnez le point (2000;3) dans le repère (c'est un point en charge stratifiée).
 - Recherchez 2 points à 2000 tr/mn dans le tableau du DT1 qui soit en charge homogène et en richesse 1. Positionnez ces 2 points dans le plan P_{me} - P_{tub} .
 - Il faut estimer la valeur de P_{tub} qui serait réalisée à (2000 ; 3) en charge homogène. *Le graphe sur le DR3 tracé à partir du DT4 montre que la P_{tub} dépend quasi linéairement de la P_{me} à 4500 tr/mn en charge homogène et il semble que l'on puisse appliquer la tendance définie à 4500 tr/mn au régime 2000 (hypothèse : la pente est la même à 2000 et à 4500 tr/mn en charge homogène).*
- Chiffrez l'accroissement de pression tubulure obtenue grâce à la stratification de la charge. Il sera notée ΔP_{tub} sur le document réponse.

- ① **Question 2-4** : Ce ΔP_{tub} va avoir une incidence sur la $P_{mi_{BP}}$ et donc engendrer un $\Delta P_{mi_{BP}}$. Estimez cette variation de la $P_{mi_{BP}}$ à partir du coef. directeur établi en 2-1.

Remarque : ce $\Delta P_{mi_{BP}}$ sera logiquement négatif puisque le but est de réduire les pertes par pompage.

3. Analyse des rendements au point (2000 ; 3) (documents à utiliser DT1)

Objectif : nous voulons maintenant traduire le $\Delta P_{mi_{BP}}$ en un gain sur le rendement effectif en estimant la situation (2000,3) en charge homogène et en la comparant à la situation charge stratifiée qui a été caractérisée sur le DT1.

Pour la suite, nous considérerons $\Delta P_{mi_{BP}} = - 0,4$ b

- ① **Question 3-1** : Calculez le rendement effectif au point (2000 ; 3) obtenu en charge stratifiée. Il sera noté : $\eta_{eff.stra}$.
- Valeurs numériques : **le Pci du carburant d'essai est de 43,5 MJ/kg.**

Hypothèse de travail :

Une analyse préalable de la P_{mf} à différentes P_{me} et différents régimes a permis de conclure que la P_{mf} dépend essentiellement du régime et que localement **autour de 3b de P_{me} la P_{mf} n'est pas liée à l'évolution de la P_{me} .**

- ① **Question 3-2** : Si ce point était réalisé en charge homogène, et en **supposant que le rendement de combustion et que le rendement mécanique soient constants,**

calculez la valeur du rendement effectif qui serait réalisé en charge homogène sur ce même point (2000 ; 3). Il sera noté $\eta_{\text{eff.homo}}$. Rappel : la $P_{mi_{BP}}$ chute de $-0,4b$ en stratifié (cf 2-4).

Démarche à suivre :

- A partir des données du DT1 calculez la $P_{mi_{BP}}$ du point "stratifié".
- En déduire la $P_{mi_{BP}}$ estimée en homogène et conclure sur la $P_{mi_{HP}}$ nécessaire en charge homogène pour produire $3b$ de P_{me} .
- Calculez l'augmentation de la masse injectée par cycle (notée M_{cy}) à $P_{me} = 3b$ en supposant que le rapport $P_{mi_{HP}}/M_{cy}$ soit constant autour de ce point.
- Estimez alors le gain sur le rendement effectif apporté par la stratification de la charge. Exprimez ce gain en pourcentage.

- Ⓡ **Question 3-3** : En 4 à 5 lignes, proposez des conclusions sur l'intérêt de la stratification de la charge en mélange pauvre en précisant les domaines d'utilisation à privilégier pour en bénéficier au mieux.

4. Adaptation du moteur au véhicule (document à utiliser DR1, DR5)

Objectif : nous cherchons à évaluer la consommation que peut espérer l'utilisateur d'un tel équipement (donc la performance de la stratégie stratifiée), nous considérons une situation de roulage à 90 km/h stabilisé pour ce calcul.

Le véhicule motorisé par ce moteur a des caractéristiques de pneumatiques, d'aérodynamique et de transmission qui amènent à une demande de puissance effective moteur de 13,7 kW à 90 Km/h.

L'ensemble des points du plan (P_{me} , N) où $P_e = 13,7$ kW est déjà tracé sur le DR1 (page 8/16) sous la forme d'une hyperbole d'iso-puissance.

- Ⓡ **Question 4-1** : Réalisez un graphe sur le repère fourni au DR5, en 4 points, qui montre la variation de C_{se} entre 1500 et 3000 tr/mn (les valeurs seront prises dans les DT1 et DT2, vous procéderez à des interpolations si nécessaire).
- Identifiez le point de l'iso-puissance qui permettra de réaliser la plus basse consommation à 90 km/h (donc les plus faibles émissions de CO_2).
 - Pour ce point, calculez la consommation en L/100km et exprimez la démultiplication optimale sous la forme (x)km/h pour 1000tr/mn moteur.
Valeurs numériques : **La masse volumique du carburant est de 720 kg/m³.**

Emissions de polluants à 90Km/h (document à utiliser DT2)

Objectif : pour estimer la performance pollution du véhicule il nous faut pouvoir traduire chaque situation de roulage en émissions de polluants exprimés en g/kW.h puis en g/km.

Pour des raisons d'agrément de conduite le constructeur a choisi une démultiplication plus courte que la valeur optimisant la consommation. Le régime moteur est de 2500 tr/mn à 90 km/h (soit une démultiplication de 36km/h pour 1000tr/mn) et la Pme de 3,6bar à 90 Km/h.

Rappel du principe de calcul des émissions spécifiques :

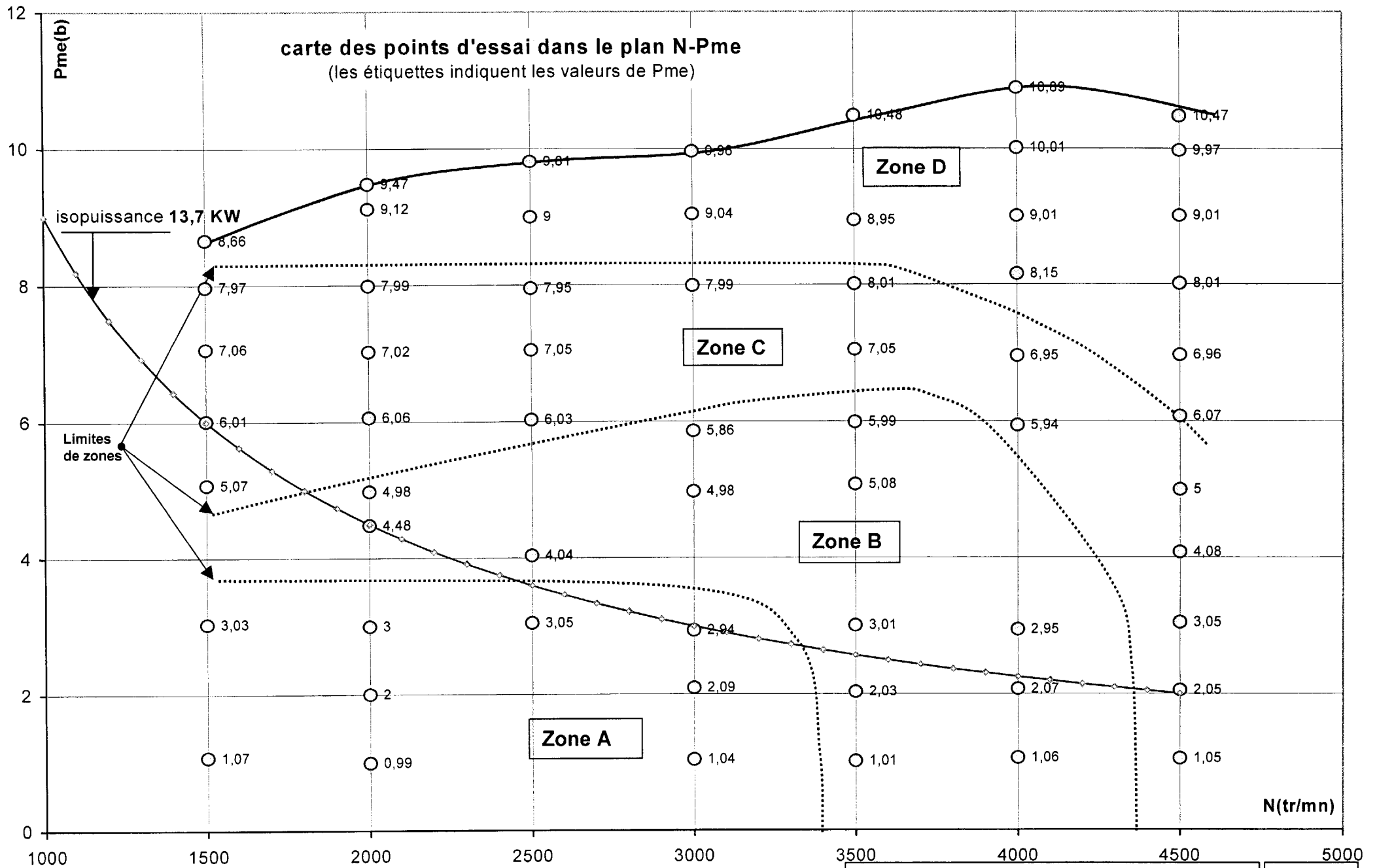
- Le nombre de mûles spécifiques de carburant (n_c /kW.h) est égal à $Cse/(12+y)$ pour un carburant de type CH_y . ($y = 1,826$ pour ces essais).
- Ce nombre de mûles consommées se retrouve en même nombre de mûles de carbone dans le CO_2 , HC, et CO donc dans le carbone total $X = \%CO_2 + \%CO + \%HC$. Nous pouvons donc écrire pour chaque type de polluant considéré :

$$\frac{n_{\text{mûles polluants/kW.h}}}{n_{\text{mûles carburant/kW.h}}} = \frac{\% \text{polluant}}{X}$$

- Ⓡ **Question 4-2 :** Utilisez cette relation pour traduire les émissions (de CO, CO_2 , HC et NO_x) du point (2500 ; 3,6) en émissions spécifiques en g/kW.h. La définition des concentrations sur ce point se fera par interpolation linéaire sur les valeurs proches. Vous renseignerez progressivement le tableau du DR5 pour rendre compte du déroulement de vos calculs.

La composition des NO_x sera considérée quasi identique à du NO.

- Ⓡ **Question 4-3 :** Calculez ensuite les émissions en g/km sachant que pour ce point la vitesse est de 90 Km/h (et la P_e de 13,7 kw).
Ce résultat sera également reporté dans le tableau de synthèse du DR5.



DOCUMENT A RENDRE AVEC LA COPIE

DR1