



SERVICES CULTURE ÉDITIONS  
RESSOURCES POUR  
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Bordeaux pour la  
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel**

**Campagne 2009**

Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

## MOTEURS À COMBUSTION INTERNE

Session 2009

### ÉTUDE DES MOTEURS U52 – ÉTUDE ET ANALYSE DES MOTEURS

Durée : 3 heures – Coefficient : 3

#### Documents et matériels autorisés :

Aucun document autre que le sujet n'est autorisé.

#### Moyens de calculs autorisés :

Calculatrice électronique de poche, y compris calculatrice programmable et alphanumérique à fonctionnement autonome, non imprimante, conformément à la circulaire N° 86.228 du 26 Juillet 1986.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il soit complet.  
Le sujet comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.

<b>CODE ÉPREUVE :</b> 0906MOE5EAM		<b>EXAMEN</b> BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		<b>SPÉCIALITÉ :</b> MOTEURS À COMBUSTION INTERNE	
<b>SESSION :</b> 2009	<b>SUJET</b>	<b>ÉPREUVE : ÉTUDE DES MOTEURS</b> <b>U52 – ÉTUDE ET ANALYSE DES MOTEURS</b>			
<b>Durée : 3h</b>	<b>Coefficient : 3</b>	<b>SUJET N°02EM08</b>		<b>Page 1/12</b>	

## **Présentation**

La politique actuelle de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> ainsi que la nécessité de trouver des carburants alternatifs aux carburants issus du pétrole, font émerger des carburants dits « carburants verts » tels que le E85 qui est composé de 15% d'essence sans plomb 95 (ESP95) et de 85% d'éthanol.

Les études généralement médiatisées annoncent un gain en production de CO<sub>2</sub> très important, mais ce gain est calculé à partir des émissions « du puits à la roue ». L'étude qui suit se limite à une approche « du réservoir à la roue ».

Afin de déterminer le potentiel maximum de l'éthanol, cette analyse compare le fonctionnement à l'éthanol pur, avec un fonctionnement à l'ESP95, en termes de rejets de CO<sub>2</sub> à l'échappement et de consommation de carburant. Ces 2 modes de carburation seront étudiés sur 2 moteurs suralimentés de faible cylindrée ayant des caractéristiques similaires. Chaque moteur aura été optimisé pour le carburant utilisé.

**Cette étude se décompose en 4 parties indépendantes.**

### **Lecture du sujet : 15 min**

#### **Partie 1 (temps conseillé : 55 min) :**

Comparaison des émissions de CO<sub>2</sub> à l'échappement :

- émissions théoriques à la stoechiométrie (richesse 1) ;
- émissions sur un point de fonctionnement à forte charge : PME 14 bars, régime 2500 tr/mn.

#### **Partie 2 (temps conseillé : 40 min) :**

Analyse de la chaîne des rendements sur un point de forte charge : PME 17 bars, régime 3000 tr/mn.

#### **Partie 3 (temps conseillé : 30 min) :**

Evaluation et comparaison des énergies volumiques de ces 2 carburants.

#### **Partie 4 (temps conseillé : 30 min) :**

Comparaison des consommations et émissions de CO<sub>2</sub> sur cycle NMVEG.

#### **Partie 5 (temps conseillé : 10 min) :**

Synthèse de l'étude.

**Toutes les données relatives aux moteurs, au véhicule et aux carburants sont fournies dans le document technique DT1 page 8.**

Les résultats d'essais sont fournis dans les documents techniques DT2 page 9, DT3 page 10 et DT4 page 11.

**Le document réponse DR1 page 12 est à rendre avec la copie.**

## PARTIE 1

L'objectif de cette partie est de démontrer et vérifier la baisse de production de  $\text{CO}_2$  à l'échappement due à l'utilisation de l'éthanol. L'analyse se fera en 2 temps :

- comparaison des rejets théoriques de  $\text{CO}_2$  à richesse 1 pour la même énergie introduite dans le cylindre moteur ;
- estimation et comparaison des émissions de  $\text{CO}_2$  sur un point de fonctionnement à forte charge,  $\text{PME} = 14$  bars et  $N = 2500 \text{ tr.mn}^{-1}$ .

### Etude des rejets de $\text{CO}_2$ théoriques à richesse 1:

- 1.1 Ecrire et équilibrer l'équation de combustion de l'éthanol à la stœchiométrie.
- 1.2 Calculer l'émission théorique de  $\text{CO}_2$  par gramme de carburant brûlé, exprimée en «  $\text{g.g}^{-1}$  ».  
En déduire l'émission de  $\text{CO}_2$  par kJ d'énergie dégagée, exprimée en «  $\text{g.kJ}^{-1}$  ».

### Emissions de $\text{CO}_2$ sur le point de fonctionnement à forte charge en mode éthanol.

Sur le point [ $\text{PME} = 14$  bars,  $N = 2500 \text{ tr.mn}^{-1}$ ] la combustion se déroule à richesse 1 pour les 2 modes de fonctionnement (essence et éthanol). Le constructeur annonce un gain important sur ce point en mode éthanol. On vous demande, dans un premier temps, de chiffrer ce gain et de mettre en évidence les éléments qui permettent de justifier le gain annoncé.

- 1.3 - Pour ce point de fonctionnement, déterminer par lecture sur le graphe « document technique DT2 page 9 », la valeur de la  $C_{se}$  en  $\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$  en **mode éthanol**.

Pour la suite du problème, vous prendrez, pour ce point de fonctionnement en mode éthanol,  $C_{se} = 400 \text{ g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$ .

- 1.4 Pour ce même point, calculer la valeur de la consommation d'éthanol en  $\text{g.s}^{-1}$
- 1.5 A partir de cette consommation, et en considérant que le carbone contenu dans le carburant se retrouve intégralement dans le  $\text{CO}_2$ , calculer l'émission de  $\text{CO}_2$  en  $\text{g.s}^{-1}$  pour ce même point de fonctionnement.
- 1.6 Calculer le rendement effectif pour le point [ $\text{PME} = 14$  bars,  $N = 2500 \text{ tr.mn}^{-1}$ ] en mode de fonctionnement éthanol.

### Bilan des gains (exprimer les gains en %) :

- 1.7 Les valeurs relevées pour le moteur essence, pour ce point de fonctionnement [ $\text{PME} = 14$  bars,  $N = 2500 \text{ tr.mn}^{-1}$ ] sont :
  - émission (débit) de  $\text{CO}_2$  :  $5,43 \text{ g.s}^{-1}$ ,
  - rendement effectif : 0,319.Emission de  $\text{CO}_2$  par kJ, pour l'essence, à richesse 1 :  $74,37.10^{-3} \text{ g.kJ}^{-1}$ .
  - a) Calculer le gain théorique de la production de  $\text{CO}_2$  par kJ de l'éthanol par rapport à l'essence.
  - b) Calculer le gain obtenu sur le rendement effectif de l'éthanol par rapport à l'essence.
  - c) Calculer le gain éthanol / essence sur le débit de  $\text{CO}_2$  ( $\text{g.s}^{-1}$ ), en se basant sur le résultat (question 1.5)
  - d) Justifier ce gain en utilisant les arguments suggérés ci-dessus.

## PARTIE 2

L'objectif de cette partie est de faire une analyse comparative des rendements moteur sur un point de fonctionnement proche de la pleine charge [PME = 17 bars,  $N = 3000 \text{ tr.mn}^{-1}$ ] pour les 2 modes de carburation.

2.1 - Compléter le tableau (document réponse DR1 page 12) correspondant à la chaîne des rendements, en utilisant les données du « document technique DT1 page 8 », et en tenant compte des hypothèses ci-dessous.

- le rendement thermodynamique théorique sera celui d'un cycle Beau de Rochas.
- le rendement mécanique éthanol est identique au rendement mécanique essence.
- Le rendement de combustion sera calculé à partir des rejets de CO et HC dans les gaz d'échappement.
- Le PCI des HC (hydrocarbures imbrûlés) est considéré égal au PCI du carburant utilisé.

On a sur ce point de fonctionnement :

- $q_{m_{\text{carb}}} = 153,7 \text{ mg.cycle}^{-1}$
- $q_{m_{\text{CO}}} = 16,4 \text{ mg.cycle}^{-1}$
- $q_{m_{\text{HC}}} = 4,8 \text{ mg.cycle}^{-1}$ .

Vous devez, sur ce document :

- énoncer les formules utilisées pour calculer les travaux par cycle en précisant les unités employées ;
- fournir le détail (formules et applications numériques) permettant de calculer le rendement de combustion ;
- calculer chaque travail par cycle, chaque rendement (citer le nom de ces rendements) en mode éthanol ;
- calculer le gain en % pour chaque rendement en mode éthanol par rapport au mode essence.

## PARTIE 3

L'objectif de cette partie est de chiffrer et de comparer le potentiel énergétique du mélange introduit dans le cylindre (énergie volumique notée  $W_{vol}$  en  $J.m^{-3}$  de mélange), pour l'essence et l'éthanol. Le résultat indiquera si le potentiel de puissance du moteur est préservé en mode éthanol.

Conditions de l'étude :

- Combustion stœchiométrique (richesse 1) ;
- moteur suralimenté :
  - pression tubulure = 1,6 bars ;
  - température de l'air sortie échangeur = 60 °C.

Remarques importantes :

- les carburants sont vaporisés avant la fermeture de la soupape d'admission :
  - **100 % vaporisé pour le mode essence ;**
  - 50 % vaporisé pour le mode éthanol (hypothèse tenant compte de la pression de vapeur saturante de l'éthanol).

- Le phénomène de vaporisation abaisse la température de l'air; ceci augmente sensiblement  $W_{vol}$ .

**Par exemple, pour l'éthanol, dans les conditions indiquées, l'énergie volumique du mélange admis est de  $5388,5 J.dm^{-3}$ .** On cherche donc dans cette partie à calculer  $W_{vol}$  pour l'essence.

**Les conditions pour ce calcul sont :  $\theta_{air} = 42,6^{\circ}C$  (après vaporisation),  $P_t = 1,6$  bars.**

Pour calculer l'énergie volumique, il est nécessaire de connaître la pression partielle du carburant qui dépend du PCO et des masses molaires.

3.1 la loi des mélanges de gaz **parfaits** permet d'écrire :

$$P_{p.carb} = \frac{M_{air}}{M_{air} + (M_{carb} \times PCO)} \times P_t \text{ avec :}$$

$P_{p.carb}$  : pression partielle du carburant vaporisé,

$M_{air}$  : la masse molaire de l'air,

$M_{carb}$  : la masse molaire du carburant,

$PCO$  : le pouvoir comburivore.

$P_t$  : pression totale ; rappel :  $P_t = P_{p.air} + P_{p.carb}$

- a) Déterminer la pression partielle du carburant vaporisé.
- b) calculer la masse volumique du carburant vaporisé dans les conditions de l'essai (loi des gaz parfaits).

Pour la suite du problème, on prendra  $\rho_{Vess} = 0,12 kg.m^{-3}$ .

3.2 Calculer l'énergie volumique du mélange air-essence.

3.3 A iso-rendement effectif, quel est le gain sur le potentiel de puissance effective obtenu avec l'éthanol ?

## PARTIE 4

L'objectif de cette partie est de comparer les consommations de carburant et les émissions de CO<sub>2</sub> à l'échappement, sur un cycle de roulage normalisé type NMVEG, et d'étudier un point de fonctionnement à faible charge qui apparaît plusieurs fois dans le cycle.

2 essais normalisés sur cycle NMVEG ont été effectués avec un même véhicule. Dans un premier cas, le véhicule était équipé du moteur essence, dans le second cas le véhicule était équipé du moteur éthanol.

Les caractéristiques du véhicule sont données document technique DT1 page 8.

Le cycle d'essai est fourni document technique DT4 page 11.

Le tableau des mesures sur ce cycle est fourni sur ce même document DT4 page 11.

### Analyse des consommations normalisées.

Les consommations normalisées sont calculées sur ce cycle, à partir des émissions de CO<sub>2</sub>, CO et HC exprimées en g.km<sup>-1</sup>. La consommation se calcule de la façon suivante :

$$C(L/100km) = \frac{1200}{\%C} \times \left[ \frac{m_{CO_2}}{M_{CO_2}} + \frac{m_{CO}}{M_{CO}} + \frac{m_{HC}}{M_{HC}} \right] \times \frac{1}{\rho_{carb}} \times 100 \text{ avec :}$$

-  $m_i$  : masse de produit i en g.km<sup>-1</sup>

-  $M_i$  : masse molaire du produit i en g.mol<sup>-1</sup>

-  $\%C$  : le taux massique de carbone dans le carburant en %. (exemple :  $\%C = 86,5$  pour l'essence de l'essai).

-  $\rho_{carb}$  : la masse volumique du carburant (liquide) en g.L<sup>-1</sup>

**Pour le cas « essence », le calcul donne une consommation mixte de 4,98 L/100 km.**

4.1 Calculer à partir des émissions mesurées (tableau « document technique DT4 page 11 »), la consommation sur l'ensemble du cycle pour le véhicule à moteur éthanol.

4.2 Chiffrer l'écart sur la consommation estimée (prise en compte du CO<sub>2</sub> uniquement), en pourcentage, du véhicule éthanol par rapport au véhicule essence.

### Emissions de CO<sub>2</sub> sur cycle.

4.3 Pour l'ensemble du cycle, calculer le gain en émissions de CO<sub>2</sub>, apporté par l'utilisation d'un moteur éthanol par rapport à l'essence.

## PARTIE 5

L'étude réalisée lors de ce sujet a donné les résultats suivants (ordres de grandeur, gain éthanol / essence) :

- Gain de masse de CO<sub>2</sub> produit par kJ : 4% (partie 1)
- Gain de rendement effectif sur un point 14 bars / 2500 tr.min<sup>-1</sup> : 5% (partie 1)
- Gain de rendement effectif sur un point 17 bars / 3000 tr.min<sup>-1</sup> : 18%, avec des gains sur tous les rendements partiels (partie 2)
- Gain sur le potentiel de puissance effective : 5% (partie 3)
- Gain « global » sur les émissions de CO<sub>2</sub> sur le point 17 bars / 3000 tr.min<sup>-1</sup> : 20% (résultats obtenus par une exploitation plus avancée de la partie 2, n'ayant pas fait l'objet d'un traitement dans le sujet)
- Gain sur les émissions (en g.km<sup>-1</sup>) sur le cycle NMVEG : 10% (partie 4)
- Augmentation de la consommation (en L/100 km) : 40% (partie 4)

En quelques phrases (15 lignes maximum) :

- 5.1 - Commenter et justifier ces résultats en fonction des conditions d'utilisation (14 bars, 17 bars, cycle routier).
- 5.2 - L'éthanol participe-t-il de façon significative à l'objectif de réduction de CO<sub>2</sub> ?
- 5.3 - L'utilisation de l'éthanol est-elle pertinente dans le cadre du downsizing\* ?

\* *downsizing* : sous dimensionnement, c'est-à-dire réduction de cylindrée à puissance constante.



## Document technique DT1

### Caractéristiques communes aux 2 moteurs :

4 cylindres, 2 soupapes par cylindre.

Pression de suralimentation : 1,6 bars.

Cylindrée totale : 800 cm<sup>3</sup>.

### Moteur configuré essence :

Rapport volumétrique : 9,5

### Moteur configuré éthanol :

Rapport volumétrique : 12,5

### Essence : CH<sub>1,87</sub>

Masse molaire,  $M_{\text{ess}} = 102,5 \text{ g/mol}$

Masse volumique :  $\rho_{\text{essence}} = 0,750 \text{ kg/dm}^3$  à l'état liquide.

PCI = 42690 kJ/kg.

PCO = 14,6.

RON = 95.

### Ethanol : C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH

Masse volumique éthanol :  $\rho_{\text{éthanol}} = 0,790 \text{ kg/dm}^3$  à l'état liquide.

PCI = 26805 kJ/kg.

PCO = 9.

RON = 111.

### Autres caractéristiques :

Gamma mélange :  $\gamma = 1,4$ .

PCI du CO = 10100 kJ/kg.

Composition de l'air : O<sub>2</sub> + 3,78 N<sub>2</sub>

Masse molaire de l'air,  $M_{\text{air}} = 28,98 \text{ g/mol}$

Masses atomiques : H = 1, C = 12, O = 16, N = 14

R = 8,314 J/mol.K

### Données véhicule :

S.Cx = 0,68 m<sup>2</sup> (S : surface frontale, Cx : coefficient aérodynamique)

Résistance au roulement : R<sub>r</sub> = 233 N pour l'ensemble des 4 roues.

Masse volumique de l'air ambiant = 1,2 kg/m<sup>3</sup>

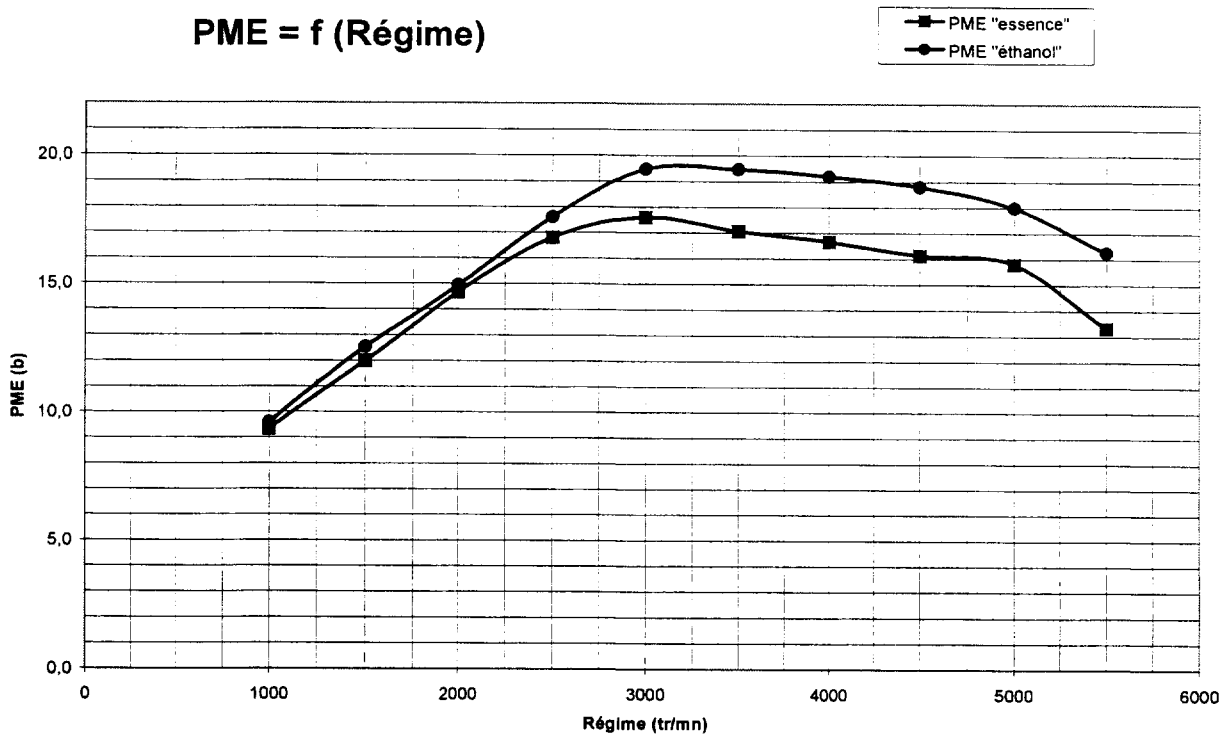
Rendement de transmission = 0,9.

Vitesse pour 1000 tr/mn moteur en 3<sup>ème</sup> = 25,47 km/h.

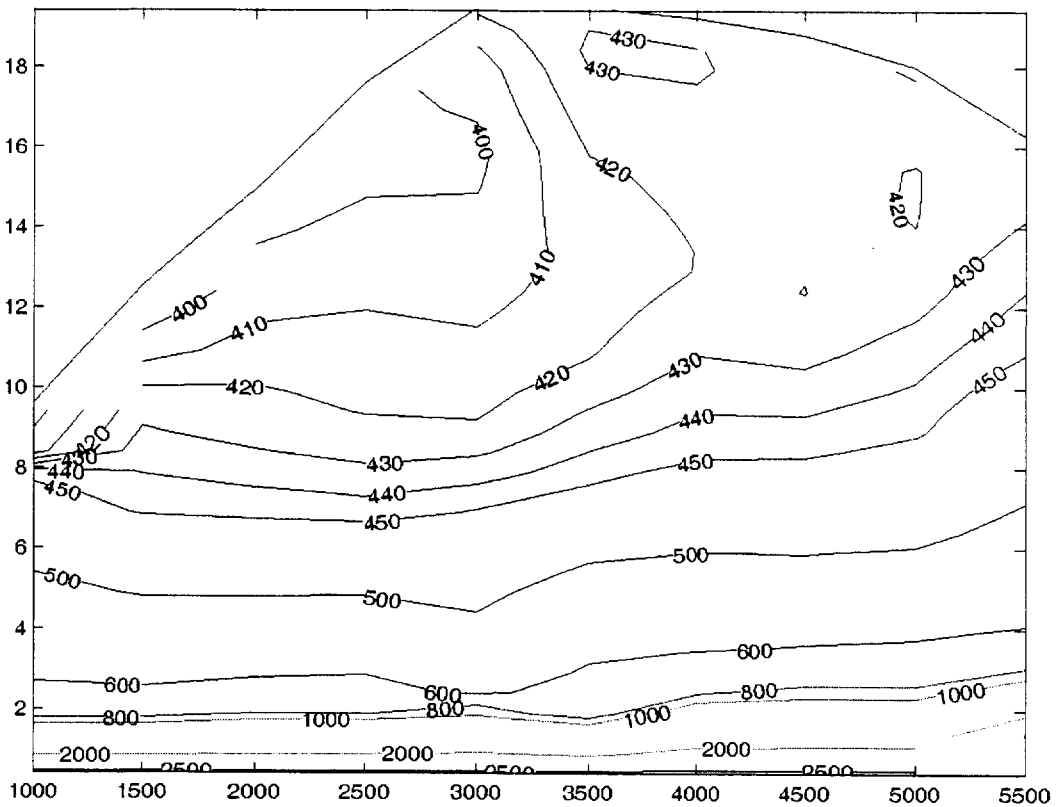
# Document technique DT2

## Comparaison PME pleine charge

PME = f (Régime)

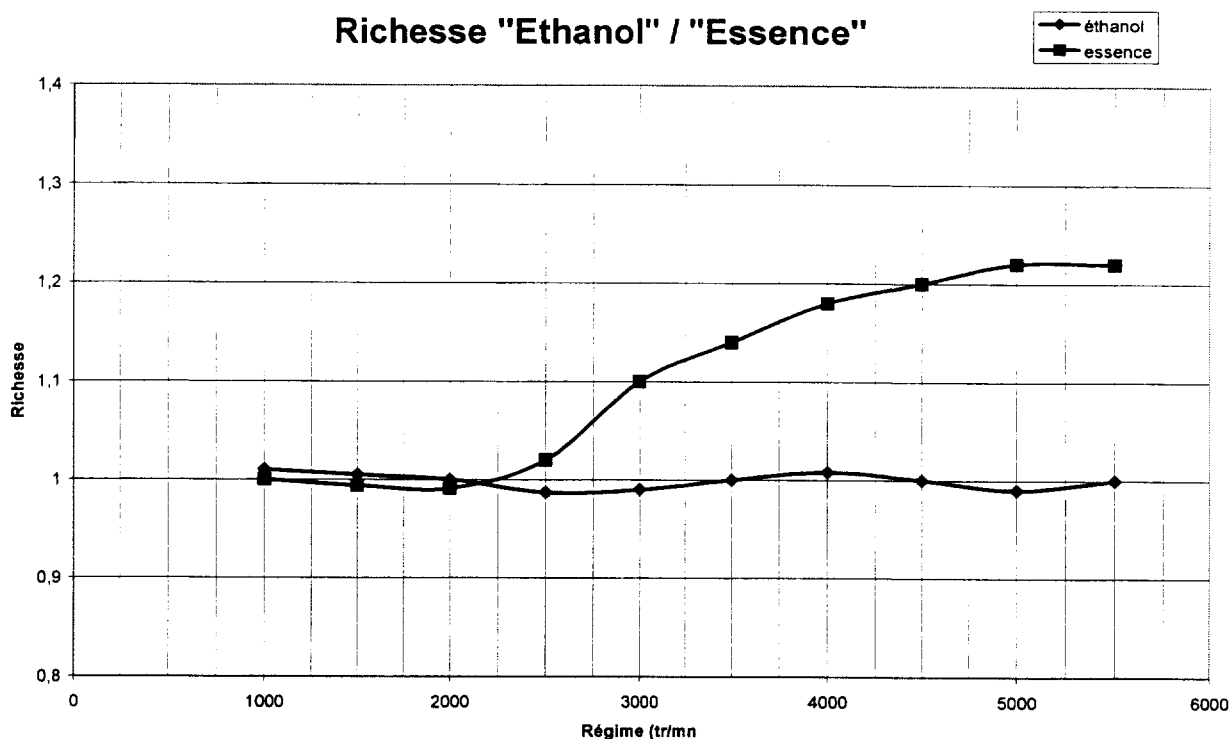


Moteur éthanol : Graphe Iso-CSE dans un champ PME – Régime.

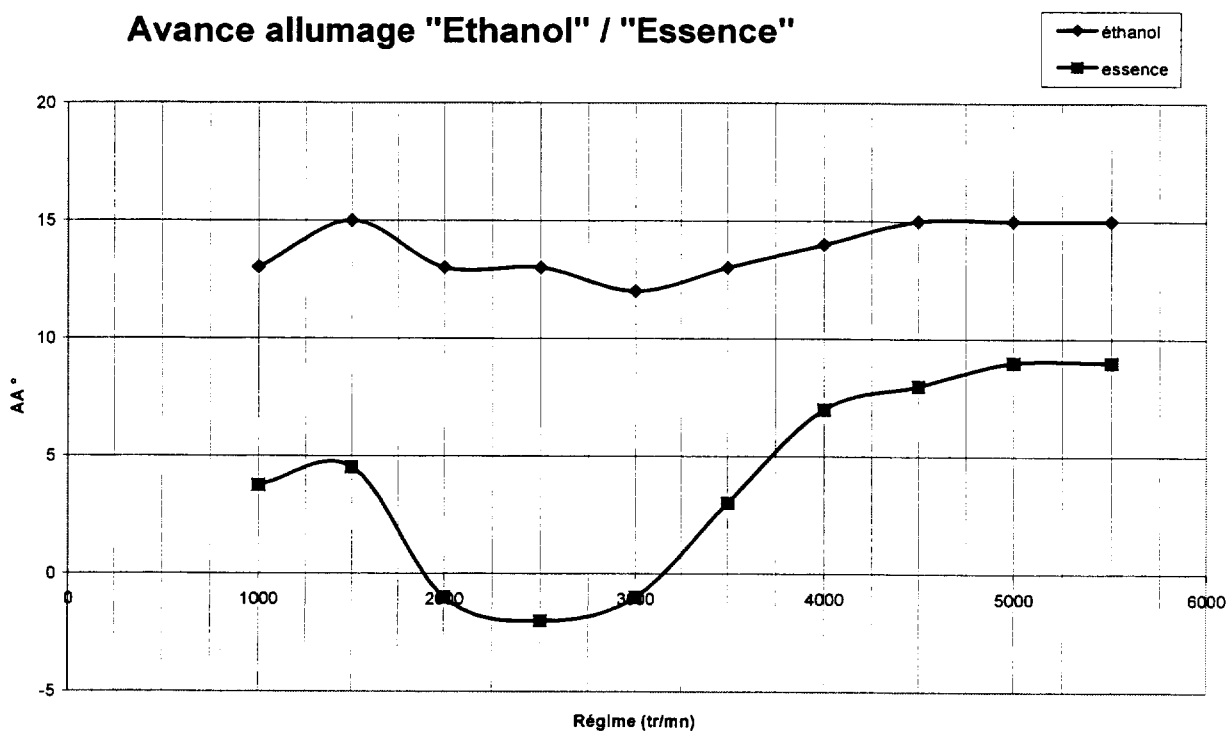


## Document technique DT3

Essai pleine charge à iso-température maxi entrée turbine du turbocompresseur

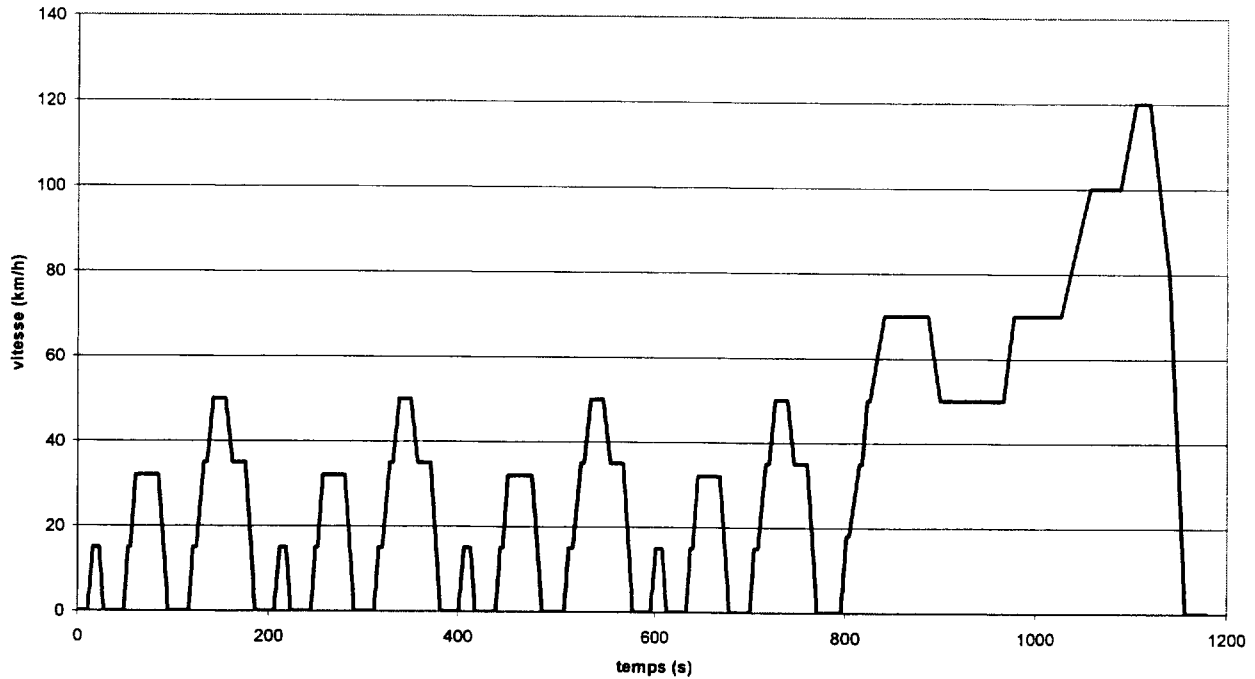


Essai pleine charge, à avance opti (hors zone de cliquetis)



## Document technique DT4

Cycle Européen N-MVEG



### Résultats des mesures d'émissions sur cycle NMVEG

			Phase 1	Phase 2	Phase 3
		Distance en km	1	3	7
Moteur éthanol	CO <sub>2</sub>	g/phase	135	384	651
	CO	g/phase	1,88	0,325	0,28
	HC	g/phase	0,46	0,063	0,05
Moteur essence	CO <sub>2</sub>	g/phase	150	437	708
	CO	g/phase	3,76	0,65	0,56
	HC	g/phase	0,38	0,063	0,06

**Document réponse DR1 A rendre avec la copie**

Compléter toutes les cases grisées

Formules employées et unités	ETHANOL Valeur de l'énergie en joule	ETHANOL Rendements (calculés)	ESSENCE Rendements (données)	Gain éthanol/essence en %
$W_{\text{chimique}} / \text{cycle} =$				
$Q_{\text{combustion}} / \text{cycle} =$			0,87	
$W_{\text{thermo.théorique}} / \text{cycle} =$			0,595	
$W_{\text{indiqué}} / \text{cycle} =$			0,575	
$W_{\text{effectif}} / \text{cycle} =$		0,94	0,94	
		$\eta_{\text{effectif}}$ 0,33	0,28	

Détails des calculs du rendement de combustion :