



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 2012**

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

## MOTEURS À COMBUSTION INTERNE

Session 2012

### ÉTUDE DES MOTEURS U51 – EXPLOITATION D'ESSAIS MOTEUR

Durée : 3 heures – Coefficient : 3

#### Documents et matériels autorisés :

Aucun autre 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° 99-186 du 16 novembre 1999.

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

Le sujet comporte 21 pages numérotées de la façon suivante :

- Page de garde : page 1
- Présentation et composition du sujet : pages 2 et 3
- Questionnaire : pages 4 à 11
- Dossier technique : pages 12 à 18
- Dossier des documents réponses : pages 19 à 21

Documents à rendre avec la copie : DR1 (page 19), DR2 (page 20), DR3 (page 21)

CODE ÉPREUVE : MOE5EEM		EXAMEN BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : MOTEURS À COMBUSTION INTERNE	
SESSION : 2012	SUJET	ÉPREUVE : ÉTUDE DES MOTEURS U51 – EXPLOITATION D'ESSAIS MOTEUR			
Durée : 3h	Coefficient : 3	SUJET N°03ED11		21 pages	

## PRESENTATION ET COMPOSITION DU SUJET

Un constructeur automobile souhaite mettre sur le marché un véhicule avec une motorisation essence atmosphérique équipée d'un calage variable de la distribution coté admission.

### Objectif de l'étude

Dans le but de respecter la norme antipollution en cours, l'objectif de cette étude est de définir, **sur le point 2000 tr/min – PME = 2 bar**, les meilleurs réglages, par rapport à la consommation et aux émissions polluantes, du calage variable de la distribution et de l'avance à l'allumage.

### NOTATIONS :

Dans la suite de ce document :

- le dispositif de calage variable de la distribution côté admission sera noté VVT
- l'avance à l'allumage sera noté AA

### Décomposition du sujet

**Partie A :** Analyse de la variation de position VVT et des évolutions de caractéristiques de fonctionnement moteur

**Partie B :** Analyse globale du balayage d'AA pour les différentes positions VVT testées

- Evolution de la combustion
- Evolution de la transformation de l'énergie
- Evolutions de la consommation et des émissions spécifiques de polluants

**Partie C :** Pour l'ensemble des positions VVT testées, synthèse des balayages d'AA

- Pour chaque position VVT testée, identification du réglage d'AA optimal vis-à-vis du rendement effectif
- Choix de la configuration optimale position VVT / AA par rapport aux attentes en consommation et en émissions polluantes du cahier des charges

**Les trois parties du sujet sont indépendantes.**

### Temps conseillé

- Prise de connaissance du sujet : 10 minutes
- Partie A (pages 4 et 5) : 60 minutes
- Partie B (pages 6 à 10) : 90 minutes
- Partie C (page 11) : 20 minutes

### Démarche de mise au point

Pour définir les meilleurs réglages de position VVT et d'AA, par rapport à la consommation et aux émissions polluantes, le constructeur a suivi la démarche de mise au point suivante sur le point d'étude (2000 tr/min – PME = 2 bar) :

- Balayage de 5 AA sur 4 positions VVT avec régulation de la PME à 2 bar et de la richesse de fonctionnement à 1 en agissant sur le remplissage en air et la quantité injectée

Position VVT	VVT1	VVT2	VVT3	VVT4
Avances à l'allumage	25.5/28.5	25.5/28.5	25.5/28.5	26.2/29.2
	31.5/34.5/37.5	31.5/34.5/37.5	31.5/34.5/37.5	32.2/35.2/38.2

- Choix de la configuration finale VVT / AA par rapport à la consommation et aux émissions polluantes

### Documents techniques :

- DT1 (page 12) : Caractéristiques moteur, carburant, air,  $PCI_{HC}$  et  $PCI_{CO}$
- DT2 (page 13) : Résultats d'essais 2000 tr/min – PME 2 bar
- DT3 (page 14) : VVT4 – Balayage AA – Graphique 1 et graphique 2
- DT4 (page 15) : VVT4 – Balayage AA – Graphique 3 et graphique 4
- DT5 (page 16) : VVT4 – Balayage AA – Graphique 5 et graphique 6
- DT6 (page 17) : VVT4 – Balayage AA – Graphique 7 et graphique 8
- DT7 (page 18) : VVT4 – Balayage AA – Graphique 9 et graphique 10

### Documents réponses :

- DR1 (page 19)
- DR2 (page 20)
- DR3 (page 21)

# **PARTIE A : Analyse de la variation de positions VVT et des évolutions de caractéristiques de fonctionnement moteur**

**Durée conseillée : 60 minutes**

## **Documents nécessaires :**

- Documents Techniques : DT1 (page 12), DT2 (page 13), DT3 (page 14)
- Document Réponse : DR1 (page 19)

## **Les objectifs de cette partie sont :**

- de découvrir l'évolution de l'épure de distribution en fonction de la variation de position VVT
- de découvrir, pour l'ensemble des positions VVT et des balayages d'AA testés, l'évolution des caractéristiques de fonctionnement moteur.

**Les sous parties A1 et A2 sont indépendantes.**

## **A1/ Evolution de l'épure de distribution**

Le document technique DT2 comporte pour les différentes positions VVT testées (VVT1, VVT2, VVT3 et VVT4) les angles d'épures de distribution avec jeu théorique.

A1.1/ Sur le document réponse DR1, complétez l'épure circulaire de distribution en positionnant\* les ouvertures et fermetures des soupapes (AOE, RFE, AOA, RFA, etc...) d'admission et d'échappement pour les 4 positions VVT.

(\* *REMARQUE : les angles d'épures d'admission comporteront le numéro de la position VVT – exemple : RFA1 = RFA de la position VVT1*)

A1.2/ Concluez quant aux évolutions (diminution ou augmentation) des moments d'ouverture et de fermeture des soupapes d'admission ainsi que de l'étalement (angle d'ouverture) lorsque la position VVT varie de VVT1 à VVT4.

A1.3/

a) Quelles sont les 2 conditions pour avoir du contre-balayage ?

b) Sachant que quelle que soit la position VVT :

- la pression d'admission est de l'ordre de 360 / 410 mbar

- la pression d'échappement est de l'ordre de 1024 mbar

existe-t-il une position VVT permettant d'avoir de l'EGR interne par contre-balayage ?

Justifiez votre réponse (2 lignes).

## A2/ Evolution de caractéristiques de fonctionnement moteur

Le document technique DT1 comporte les caractéristiques du moteur, de l'essence et de l'air.

Pour les questions qui suivent (A2.1/ à A2.5/) :

- les calculs seront réalisés **uniquement pour la position VVT4 (RFA=11°) et l'avance à l'allumage de 29.2°** (VVT4-AA29.2)
- les commentaires et/ou analyses des courbes seront relatifs à l'évolution **globale** des grandeurs étudiées **pour l'ensemble des balayages VVT sur la plage de balayage d'AA**

Les résultats d'essais à prendre en compte sont donnés sur le document technique DT2.

A2.1/ Ecrivez l'équation de combustion stoechiométrique du carburant dans l'air puis déterminez le PCO du carburant.

A2.2/ Pour le moteur 6 cylindres de l'étude, établissez l'expression de la masse de carburant injectée par cycle.cylindre  $m_{carb/cc}$  (en mg/cc) en fonction de la consommation (en kg/h).  
Déterminez la valeur de  $m_{carb/cc}$  (en mg/cc).

A2.3/ A partir de la richesse 5 gaz, déterminez la valeur de la masse d'air admise par cycle.cylindre (en mg/cc).

Les graphiques 1 et 2 du document technique DT3 représentent les évolutions, en fonction de l'avance à l'allumage, des quatre grandeurs  $m_{carb/cc}$ ,  $m_{air/cc}$ , richesse et couple.

A2.4/ A l'aide du graphique 2 du document technique DT3, estimez la valeur moyenne du couple moteur C (en N.m).  
Vérifiez par calcul, à partir de la PME du point de fonctionnement moteur étudié, la valeur du couple moteur C (en N.m).

A2.5/ A partir du graphique 1, justifiez (3 lignes maxi) les évolutions globales relatives de la  $m_{carb/cc}$  et de la  $m_{air/cc}$  par rapport à la démarche de mise au point à richesse constante.

## **PARTIE B : Analyse globale du balayage d'AA pour les différentes positions VVT testées**

Durée conseillée : 90 minutes

### **Documents nécessaires :**

- Documents Techniques : DT1 (page 12), DT2 (page 13), DT3 (page 14), DT4 (page 15), DT5 (page 16), DT6 (page 17), DT7 (page 18)
- Documents Réponses : DR1 (page 19), DR2 (page 20)

Les objectifs de cette partie sont, pour l'ensemble des positions VVT et des balayages d'AA testés :

- d'analyser l'évolution de la combustion
- d'analyser les variations de la transformation de l'énergie
- d'analyser les évolutions de la consommation et des émissions spécifiques de polluants

Pour toutes les sous-parties qui suivent (B1, B2, B3, et B4) :

- les calculs seront réalisés **uniquement pour la position VVT4 (RFA=11°) et l'avance à l'allumage de 29.2°** (VVT4-AA29.2)
- les commentaires et/ou analyses des courbes seront relatifs à l'évolution **globale** des grandeurs étudiées **pour l'ensemble des balayages VVT sur la plage de balayage d'AA**

Les résultats d'essais à prendre en compte pour les calculs sont donnés sur le document technique DT2.

**Les sous parties B1, B2, B3, et B4 sont indépendantes.**

### **B1/ Evolution de la combustion**

Les graphiques 3 et 4 du document technique DT4 représentent les évolutions, en fonction de l'avance à l'allumage, des grandeurs :

- CA10, CA50, CA90
- Pression cylindre maxi, angle de pression cylindre maxi et vitesse maximale de dégagement d'énergie (HLC) (grandeur exprimée volontairement sans unité)

B1.1/ Donnez les définitions du CA50 et de la vitesse maximale de dégagement d'énergie.

Sur le graphique « Fraction brûlée et libération d'énergie » du document réponse DR1 :

- Positionnez les points correspondants à l'AA, le CA10, le CA50 et le CA90 puis tracez à main levée la forme de la courbe de fraction brûlée.
- A partir des points précédemment positionnés, représentez graphiquement le délai d'auto inflammation et l'étalement de combustion.
- Représentez la loi de dégagement d'énergie en justifiant votre tracé (3 lignes). Donner une unité de HLC.

B1.2/ A partir des graphiques 3 et 4 du document technique DT4 et du document technique DT2, complétez le tableau réponse 1 du document réponse DR2 en donnant pour les grandeurs demandées, **pour une augmentation de l'AA**, une estimation des valeurs à l'AA mini, à l'AA maxi et les variations correspondantes.

B1.3/ **Pour une augmentation de l'AA**, justifiez les évolutions globales du CA10 et du CA50 (3 lignes maxi).

## **B2/ Evolution de la transformation de l'énergie (pressions moyennes)**

Les graphiques 5 et 6 du document technique DT5 représentent les évolutions, en fonction de l'avance à l'allumage, des pressions moyennes PME, PMI, PMF,  $PMI_{HP}$  et  $PMI_{BP}$

B2.1/

- Donnez la définition de la  $PMI_{BP}$
- Sur le document DR2 « Pression cylindre – Volume cylindre » tracer les pressions échappement et admission.
- Complétez le graphique en représentant l'allure de la boucle basse pression pour le point de fonctionnement étudié (2000 tr/min – PME=2 bar) avec un volume au PMH de  $49.6 \text{ cm}^3$  et un volume au PMB de  $540.6 \text{ cm}^3$ .
- Justifiez le signe négatif de la  $PMI_{BP}$  et sa valeur.

B2.2/ Ecrivez la relation donnant la PMI en fonction de la  $PMI_{HP}$  et de la  $PMI_{BP}$  en bar.

B2.3/ Ecrivez la relation entre PME, PMI et PMF.

## **B3/ Evolution de la transformation de l'énergie (rendements)**

B3.1/ Donnez les définitions puis calculez, par la méthode de votre choix, les rendements effectif ( $\eta_{\text{eff}}$ ), indiqué ( $\eta_{\text{ind}}$ ) puis mécanique ( $\eta_{\text{meca}}$ ) (en %).

B3.2/ Calculez la CSE (en g/kWh).

B3.3/ a) Exprimez la puissance effective (kW) en fonction de la PME (bar), de la cylindrée ( $\text{cm}^3$ ) et du régime (tr/min).

b) Exprimez le débit de carburant (g/h) en fonction de la masse de carburant consommée par cycle et par cylindre (mg/cc) et le régime moteur (tr/min).

c) Exprimez la CSE (g/kW.h) en fonction de la PME (bar) et de la masse de carburant consommée (mg/cc).

d) A partir du graphique 1 du document technique DT3, déterminez la position VVT qui permet d'avoir une CSE mini. Pour cette position choisir l'AA permettant d'avoir la CSE mini. Justifiez votre choix en détaillant votre raisonnement à partir de la condition de l'essai à iso-PME (6 lignes maxi).

B3.4/ Afin de déterminer le rendement de combustion ( $\eta_{\text{comb}}$ ), calculez les émissions spécifiques de HC et de CO (en g/kWh) ; vous assimilerez les HC à du carburant.



**Rappel : Emission spécifique d'un polluant p**

$$E_{sp} = CSE \times \frac{[p]}{([CO_2] + [CO] + [HC])} \times \frac{M_p}{M_{carb}}$$

avec :

$E_{sp}$  : émission spécifique du polluant p (g de polluant /kW.h)

CSE : consommation spécifique effective (g de carburant /kW.h)

[x] : concentration volumique de l'espèce x (%)

$M_p$  : masse molaire du polluant p (g/mole)

$M_{carb}$  : masse molaire du carburant (g/mole)

Exemple pour le CO avec un carburant  $CH_y$  :

$$E_{sCO} = CSE \times \frac{[CO]}{([CO_2] + [CO] + [HC])} \times \frac{28}{12 + y}$$

B3.5/ On souhaite à présent établir l'expression du rendement de combustion ( $\eta_{comb}$ ).

Pour cela :

B3.5.1/ Etablissez l'expression du rendement de combustion ( $\eta_{comb}$ ) en fonction de la puissance chimique du carburant  $P_{carb}$  et des puissances chimiques  $P_{HC}$  et  $P_{CO}$  des HC et CO présents à l'échappement.

B3.5.2/ Etablissez les expressions des puissances chimiques  $P_{HC}$  et  $P_{CO}$  des HC et CO présents à l'échappement à partir :

- de la puissance effective  $P_{eff}$
- des PCI du carburant ( $PCI_{carb}$ ) et du CO ( $PCI_{CO}$ )
- des émissions spécifiques de HC ( $E_{sHC}$ ) et de CO ( $E_{sCO}$ )

Pour la question suivante, vous prendrez les valeurs suivantes :

$P_{carb} = 46.4 \text{ kW}$	$P_{eff} = 9.83 \text{ kW}$
$E_{sHC} = 5.85 \text{ g/kWh}$	$E_{sCO} = 31.7 \text{ g/kWh}$

B3.6/ Calculez le rendement de combustion ( $\eta_{comb}$ ) en % en assimilant les HC à du carburant.

B3.7/ Rappelez la relation liant les rendements effectif ( $\eta_{eff}$ ), de combustion ( $\eta_{comb}$ ), thermodynamique théorique ( $\eta_{thermo\ théo}$ ), de forme ( $\eta_{forme}$ ) (appelé aussi rendement de cycle ( $\eta_{cycle}$ )), et mécanique ( $\eta_{méca}$ ).

Déduisez de ce qui précède le rendement de cycle ( $\eta_{cycle}$ ) en %.

**Rappel :**  $\eta_{thermo\_théo} = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\gamma-1}}$

Les graphiques 7 et 8 du document technique DT6 représentent les évolutions, en fonction de l'avance à l'allumage, des rendements (indiqué ( $\eta_{ind}$ ), effectif ( $\eta_{eff}$ ), mécanique ( $\eta_{méca}$ ), de combustion ( $\eta_{comb}$ ) et de forme ( $\eta_{forme}$ )).

Le tableau suivant résume les **variations maxi** de chacun de ces rendements sur la plage de variation d'avance à l'allumage (25.5° à 38.2°).

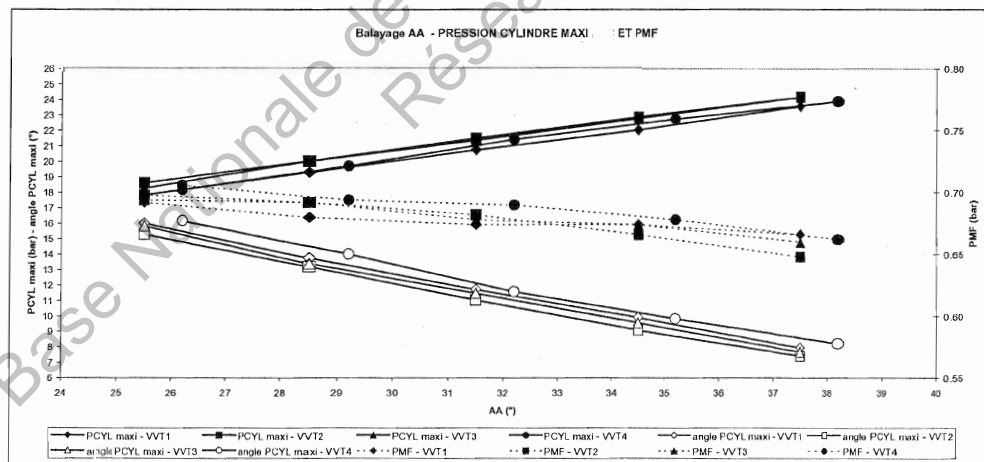
Position VVT	fixe						
AA	balayage						
Rendement	effectif	combustion	forme	mécanique	indiqué	Indiqué HP	Indiqué BP
<b>Variations maxi (%)</b>	0.26 à 0.43	0.54 à 0.87	0.85 à 1.34	0.63 à 1.40	0.63 à 0.95	0.84 à 1.13	0.17 à 0.22

B3.8/ A partir du tableau ci-dessus, identifiez, dans le produit des rendements, les 2 rendements les plus impactés par la variation d'AA.

B3.9/ Le graphique suivant représente les évolutions, en fonction de l'avance à l'allumage, de la pression cylindre maxi et de l'angle de pression cylindre maxi et de la PMF.

Etablissez la relation liant le rendement mécanique ( $\eta_{méca}$ ) à la PME et la PMF.

A partir de la relation établie ci-dessus et du graphique suivant, justifiez l'augmentation du rendement mécanique ( $\eta_{méca}$ ) lorsque l'AA augmente (la PME sera considérée constante égale à 2 bar) (3 lignes maxi).

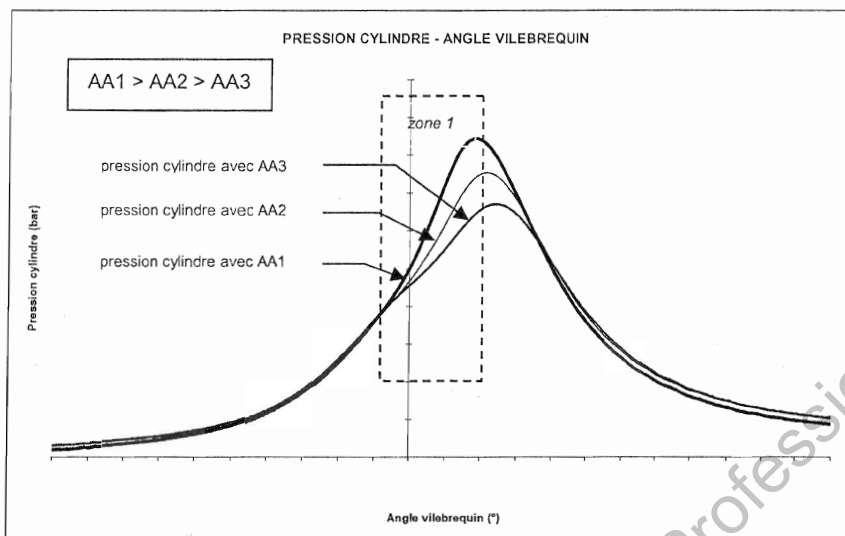


#### B4/ Evolution de la consommation et des émissions spécifiques de polluants

Les graphiques 9 et 10 du document technique DT7 représentent les évolutions, en fonction de l'avance à l'allumage, des émissions spécifiques de polluants et de la consommation spécifique effective.

Il apparaît globalement que les émissions spécifiques des polluants HC, CO et NOx augmentent quand l'avance à l'allumage passe de 25.5° à 38.2°.

Le graphique ci-dessous représente l'allure de l'évolution de la pression cylindre sur un point de fonctionnement moteur en fonction des 3 réglages de l'avance à l'allumage :  
 $AA1 > AA2 > AA3$



Dans le cadre des essais réalisés dans cette étude et à partir de l'évolution, en fonction de l'avance à l'allumage, de la pression cylindre dans la zone 1 (voir graphique précédent) :

B4.1/ Justifiez l'augmentation de l'émission spécifique de NOx quand l'avance à l'allumage augmente (4 lignes maxi).

## **PARTIE C : Synthèse des balayages d'avance à l'allumage et de position VVT**

Durée conseillée : 20 minutes

### **Documents nécessaires :**

- Documents Techniques : DT2 (page 13), DT7 (page 18)
- Documents Réponses : DR3 (page 21)

Dans la partie précédente, il est apparu que le balayage d'avance impacte notamment la consommation spécifique effective CSE et les émissions spécifiques des polluants HC, CO et NOx.

**L'objectif de cette partie est d'effectuer une synthèse des résultats sur les grandeurs précédentes pour l'ensemble des positions VVT, et de choisir la configuration optimale position VVT / AA par rapport aux attentes en consommation et en émissions polluantes du cahier des charges.**

### **C1/ Choix de la configuration optimale position VVT / AA**

Le point de fonctionnement moteur étudié (2000 tr/min – PME = 2 bar) est un point du cycle de pollution normalisé avec départ à froid.

De façon à minimiser la consommation (et donc l'émission de CO<sub>2</sub>) tout en limitant les polluants, le cahier des charges impose par ordre de priorité (du plus important au moins important) :

- CSE  $\leq$  400 g/kW.h
- Stabilité PMI < 1 %
- NOx mini
- HC mini
- CO mini

C1.1/ A l'aide des graphiques 9 et 10 du document technique DT7 et du tableau des résultats d'essais du document technique DT2, complétez le tableau réponse 2 du document réponse DR3 en indiquant pour chaque point du cahier des charges la valeur d'AA de la(les) configuration(s) position VVT / AA acceptable(s).

A chaque étape rayez les cases en dehors du cahier des charges (voir modèle VVT1 et VVT4 pour le cahier des charges concernant la CSE).

C1.2/ Choisir la configuration optimale position VVT / AA vis-à-vis du cahier des charges pour le point de fonctionnement du moteur étudié.

## DOCUMENT TECHNIQUE DT1

### Caractéristiques moteur, carburant, air, polluants

#### Caractéristiques moteur

Moteur essence atmosphérique 4 temps – 6 cylindres - Injection indirecte

Cylindrée : 2946 cm<sup>3</sup>

Alésage (mm) × course (mm) : 87 × 82.6

Rapport volumétrique : 10.9 à 1

4 soupapes par cylindre – 1 AAC (arbres à cames) admission – 1 AAC échappement

Jeu théorique à l'admission et à l'échappement : 1 mm

#### Caractéristiques de l'essence CH<sub>y/x</sub>

Densité : 0.76

Rapport H/C : 1.88

Pouvoir Calorifique Inférieur : PCI<sub>m</sub> = 42500 kJ/kg

#### Air

O<sub>2</sub> + 3.78 N<sub>2</sub>

Coefficient isentropique de l'air :  $\gamma_{\text{air}} = 1.4$

Constante des gaz parfaits :  $r = 287 \text{ J/kg.K}$

Conditions standards : 1000 mbar, 25°C

#### Pouvoirs calorifiques des polluants HC et CO

PCI<sub>HC</sub> = 42500 kJ/kg

PCI<sub>CO</sub> = 10100 kJ/kg

#### Masses molaires

C : 12 g/mole

H : 1g/mole

N : 14 g/mole

O : 16 g/mole

# DOCUMENT TECHNIQUE DT2 – Résultats d'essais 2000 tr/min – PME 2 bar

Résultats d'essais à utiliser pour les calculs pour la position  
VVT4 (RFA=11°) et l'avance à l'allumage de 29.2° (VVT4-AA29.2)

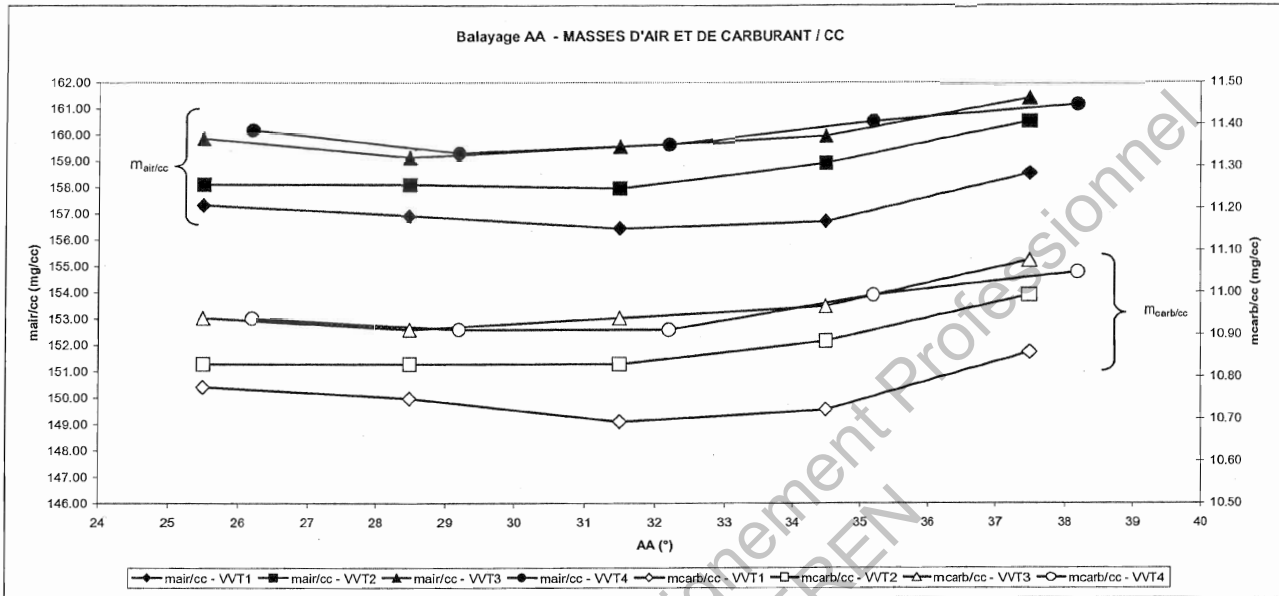
Point de fonctionnement moteur																						
Régime	2002	2005	2006	2005	2005	2005	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002		
PME	bar	2.00	2.00	2.00	1.99	1.99	2.00	2.00	2.00	1.99	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.99	2.00	1.99	2.00	
Position VVT / Epure de distribution		VVT1																				
Ouverture Admission (OA), si OA<0 alors ROA		-22																				
Retard Fermeture Admission (RFA)		36																				
Avance Ouverture Echapement (AOE)		35																				
Avance Fermeture Echapement (AFE)		7																				
Régulages moteur		7																				
Avance à l'allumage (AA)		7																				
Consommation		7																				
Pressions et températures moteur		7																				
Pression air ambiant	mba	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	
Température air ambiant (amont filtre)	°C	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	
Pression air pleium (collecteur)	mba	409	409	410	408	414	384	394	386	390	389	369	369	372	375	365	365	365	367	368	368	
Température air entrée cylindre (amont soupapes ADM)	°C	31	31	31	31	31	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	31	31	
Pression échappement	mba	1024	1024	1023	1024	1025	1024	1024	1024	1024	1024	1024	1024	1024	1024	1024	1024	1024	1024	1024	1024	
Température échappement	°C	523	518	515	511	508	520	516	512	509	508	523	517	513	510	508	523	519	514	510	508	
Température eau sortie moteur	°C	93	93	93	91	92	92	92	92	92	93	93	92	93	92	91	92	92	91	91	93	94
Température huile	°C	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
Analyse de gaz		7																				
HC	ppm	1931	2071	2185	2293	2388	2171	2293	2334	2382	2473	2093	2197	2300	2413	2500	2162	2247	2436	2496	2589	
NOx	ppm	1869	2166	2391	2622	2879	2094	2321	2561	2786	2992	2106	2296	2560	2787	2997	2049	2322	2578	2821	3030	
CO	%	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.8	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7		
O2	%	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		
CO2	%	14.5	14.4	14.4	14.3	14.3	14.5	14.5	14.4	14.4	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.4	14.6	14.5	14.5	14.4		
Compatibilité	/	99.3	99.5	99.4	99.5	99.6	99.5	99.4	99.5	99.6	99.8	99.3	99.5	99.6	99.6	99.8	99.6	99.5	99.6	99.8		
Richesse 5 gaz	/	1.000	1.000	0.998	0.999	1.000	1.000	1.000	1.001	1.000	1.000	0.999	1.001	1.001	1.001	1.002	0.997	1.000	0.998	1.001		
Pression cylindre		7																				
PMI	bar	2.69	2.68	2.67	2.65	2.66	2.70	2.69	2.67	2.66	2.65	2.69	2.69	2.68	2.67	2.66	2.70	2.69	2.68	2.68	2.66	
PMHP	bar	3.36	3.35	3.34	3.32	3.31	3.39	3.38	3.36	3.34	3.33	3.40	3.40	3.39	3.38	3.36	3.41	3.40	3.40	3.39	3.37	
PMBP	bar	-0.67	-0.67	-0.67	-0.67	-0.66	-0.69	-0.69	-0.69	-0.68	-0.68	-0.71	-0.71	-0.71	-0.70	-0.70	-0.71	-0.71	-0.72	-0.71	-0.71	
Stabilité PMI	%	1.0	0.9	0.9	1.2	1.6	0.9	0.9	1.0	1.3	1.6	1.0	0.8	1.0	1.3	1.6	1.1	0.9	1.0	1.2		
CA5	°	-4.0	-6.3	-8.4	-10.5	-12.8	-4.4	-6.6	-8.8	-11.0	-13.0	-3.9	-6.3	-8.3	-10.4	-12.6	-3.9	-6.1	-8.5	-10.4		
CA10	°	-0.7	-3.1	-5.3	-7.3	-9.7	-1.2	-3.4	-5.7	-7.9	-10.0	-0.7	-3.1	-5.2	-7.3	-9.5	-0.6	-2.8	-5.3	-7.2		
CA90	°	12.1	9.3	6.7	4.3	1.6	11.1	8.5	5.8	3.3	1.0	12.0	8.9	6.5	4.0	1.5	12.3	9.6	6.6	4.3		
Viesses maxi de dégauchement d'énergie (HLC)	bar	32.2	30.7	29.7	29.0	28.4	31.4	30.2	29.2	28.5	28.2	32.4	30.6	29.6	28.9	28.3	32.2	30.7	29.4	28.7		
PCVL maxi	bar	17.8	19.3	20.8	22.0	23.6	18.6	20.0	21.5	22.9	24.2	18.3	20.0	21.4	22.8	24.2	18.2	19.7	21.4	22.7		
Angle vilebrequin à PCVL max	°	16.0	13.8	11.7	9.9	7.9	15.3	13.2	11.1	9.1	7.4	15.8	13.4	11.5	9.6	7.7	16.2	14.0	11.6	9.8		

# DOCUMENT TECHNIQUE DT3

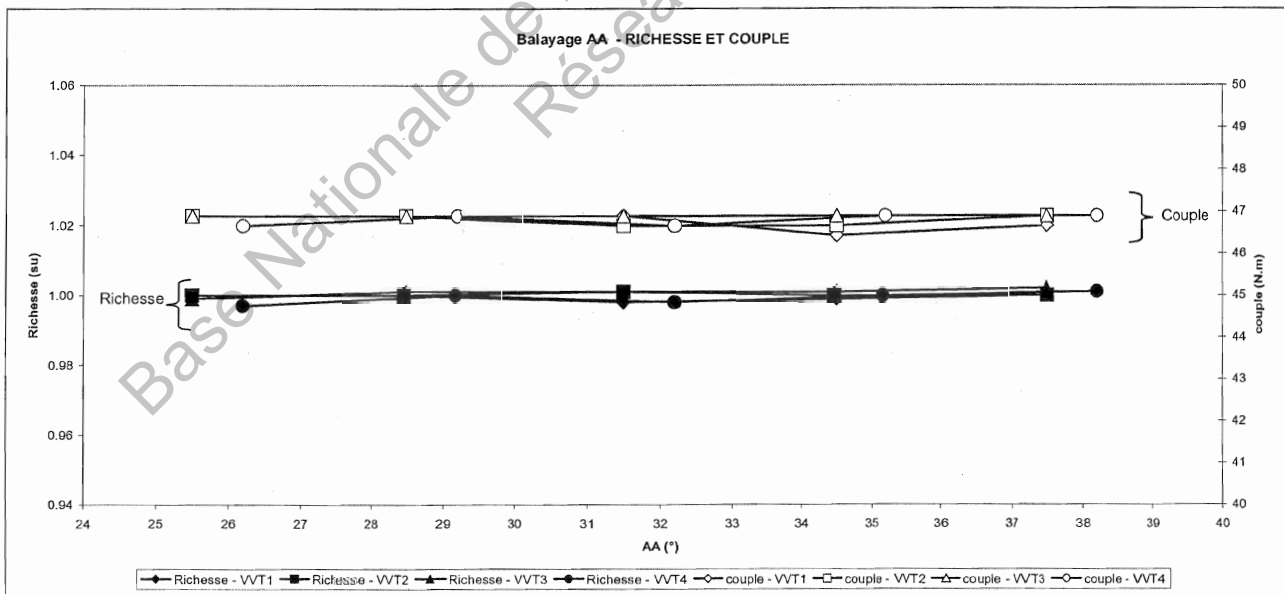
## VVT1 à VVT4 - Balayage AA

### Graphique 1 et graphique 2

**Graphique 1**



**Graphique 2**

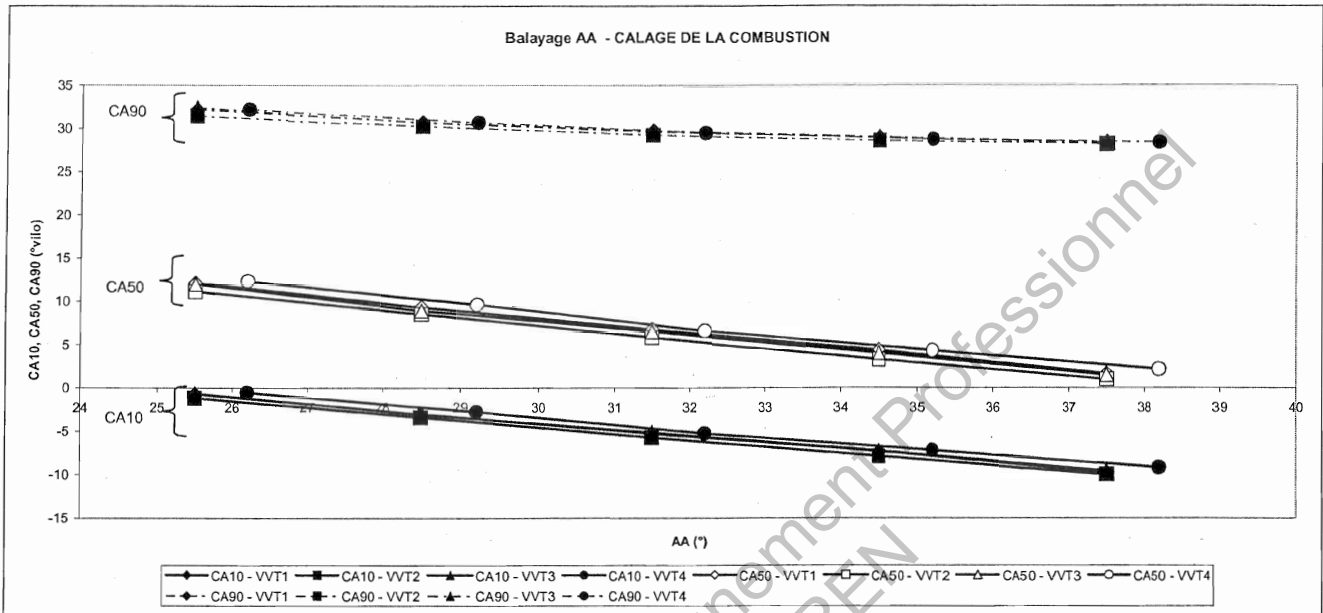


# DOCUMENT TECHNIQUE DT4

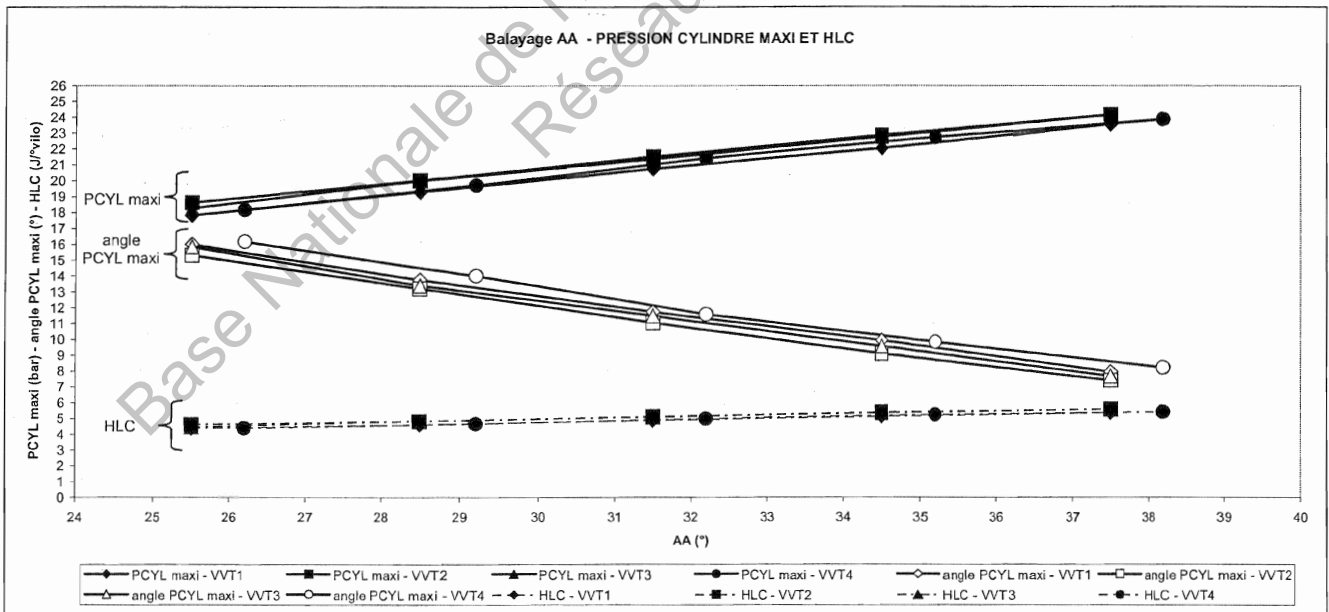
## VVT1 à VVT4 - Balayage AA

### Graphique 3 et graphique 4

**Graphique 3**



**Graphique 4**



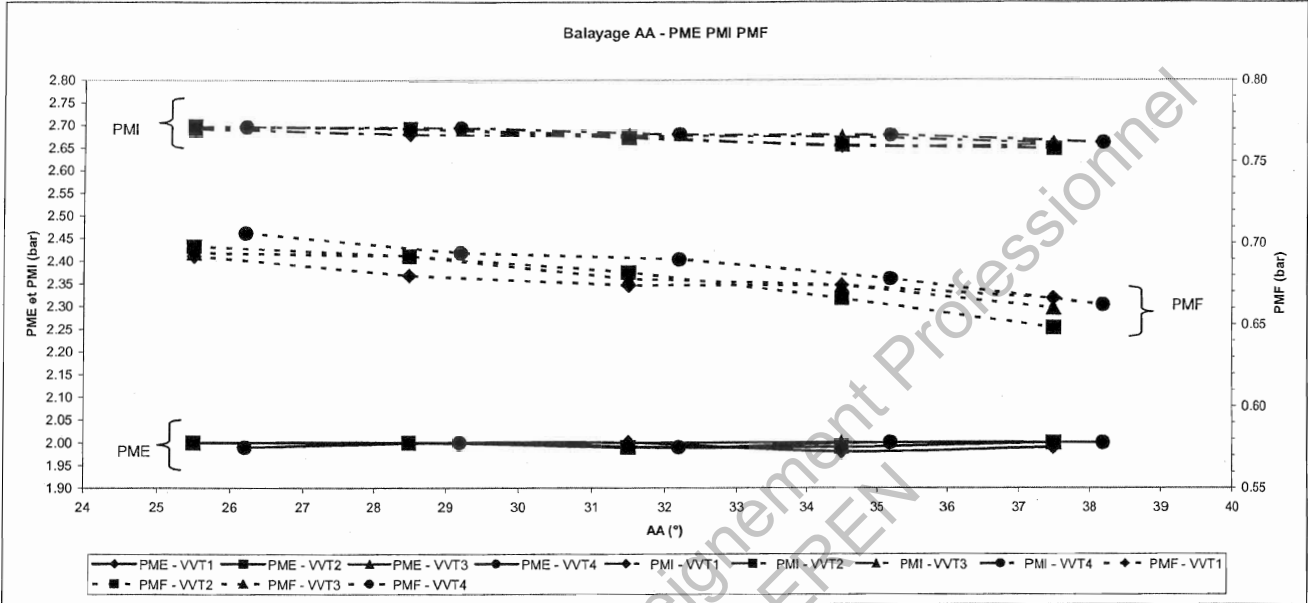


# DOCUMENT TECHNIQUE DT5

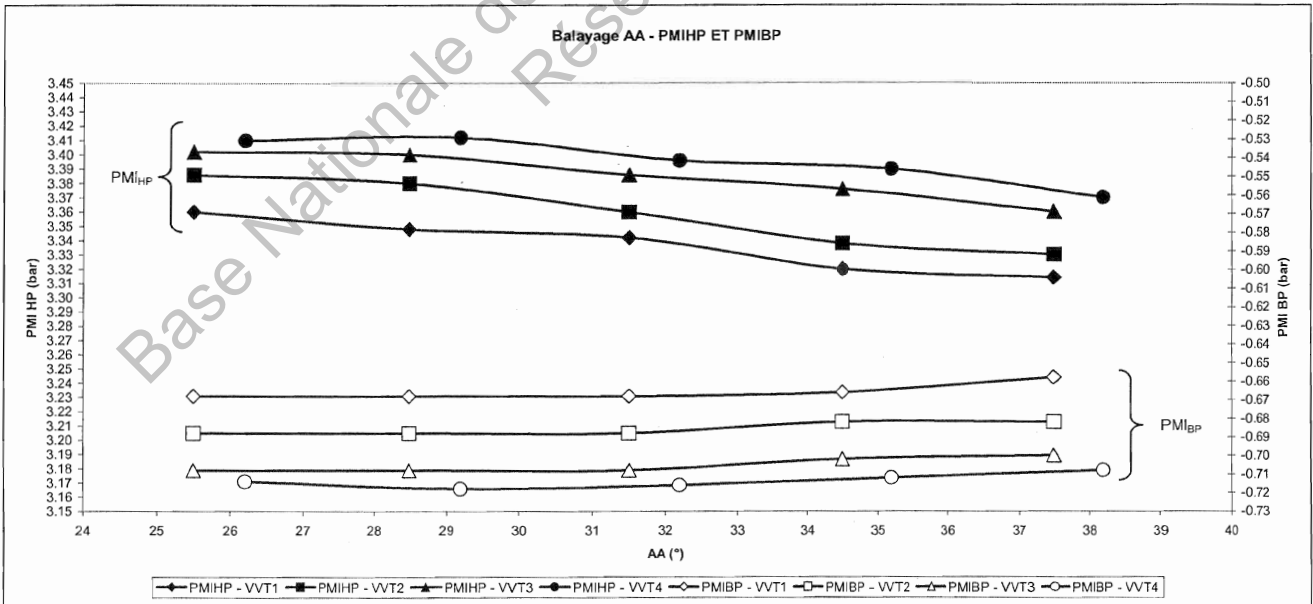
## VVT1 à VVT4 – Balayage AA

### Graphique 5 et graphique 6

**Graphique 5**



**Graphique 6**

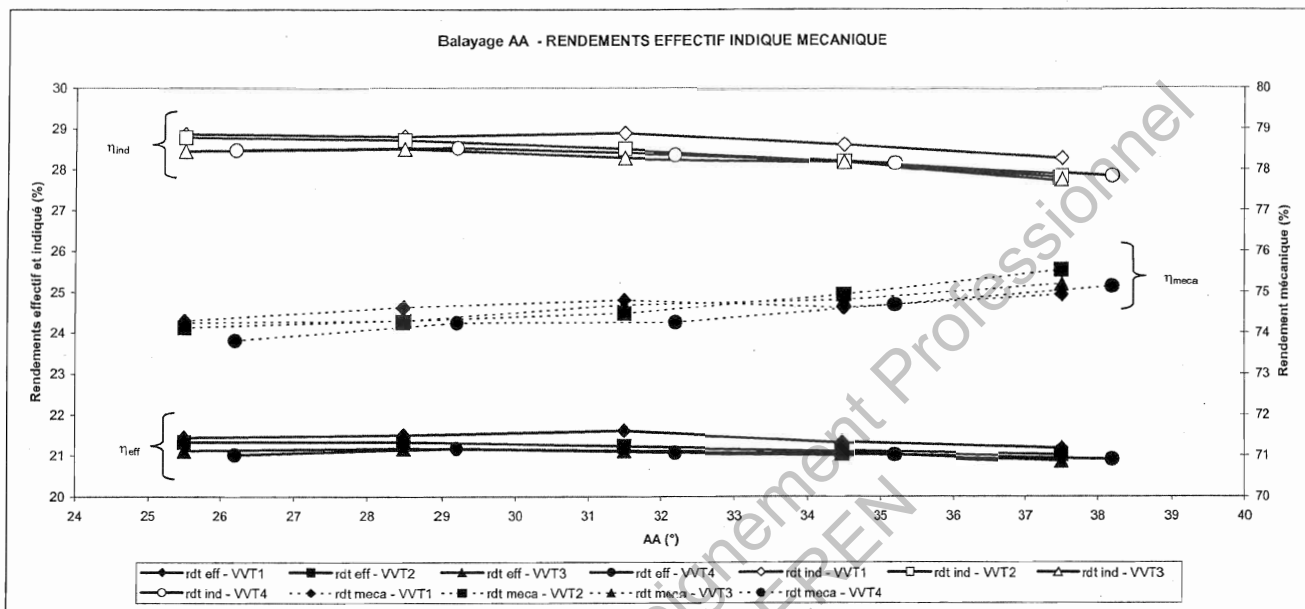


# DOCUMENT TECHNIQUE DT6

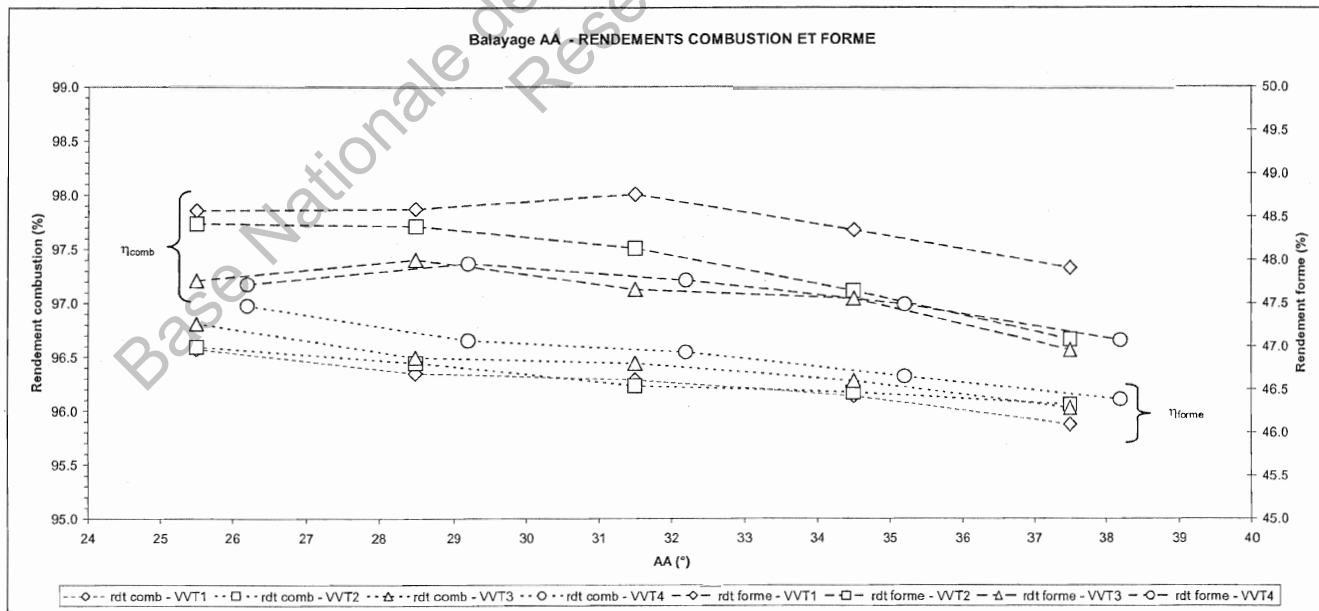
## VVT1 à VVT4 – Balayage AA

### Graphique 7 et graphique 8

**Graphique 7**



**Graphique 8**

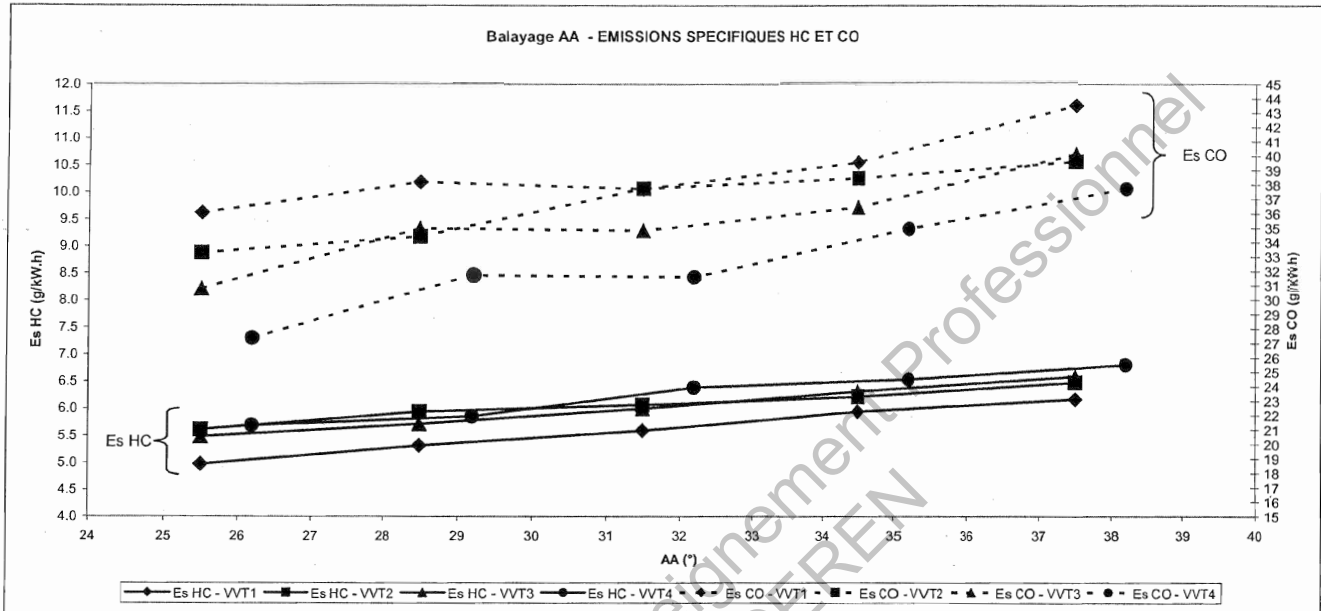


# DOCUMENT TECHNIQUE DT7

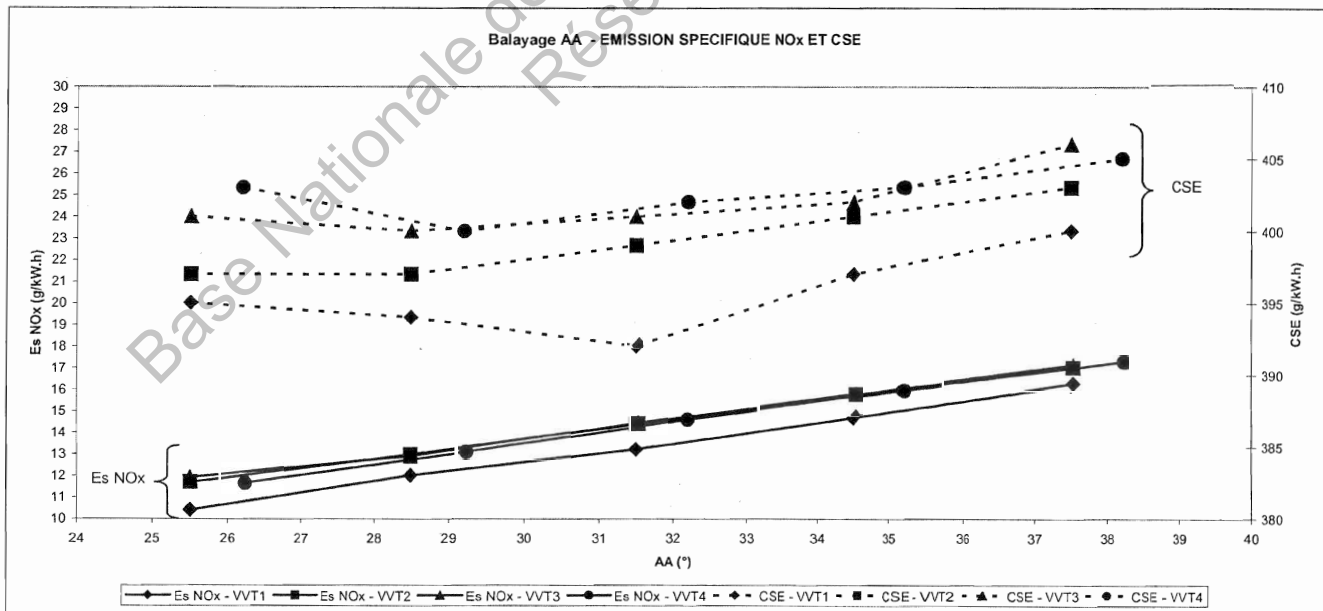
## VVT1 à VVT4 – Balayage AA

### Graphique 9 et graphique 10

**Graphique 9**

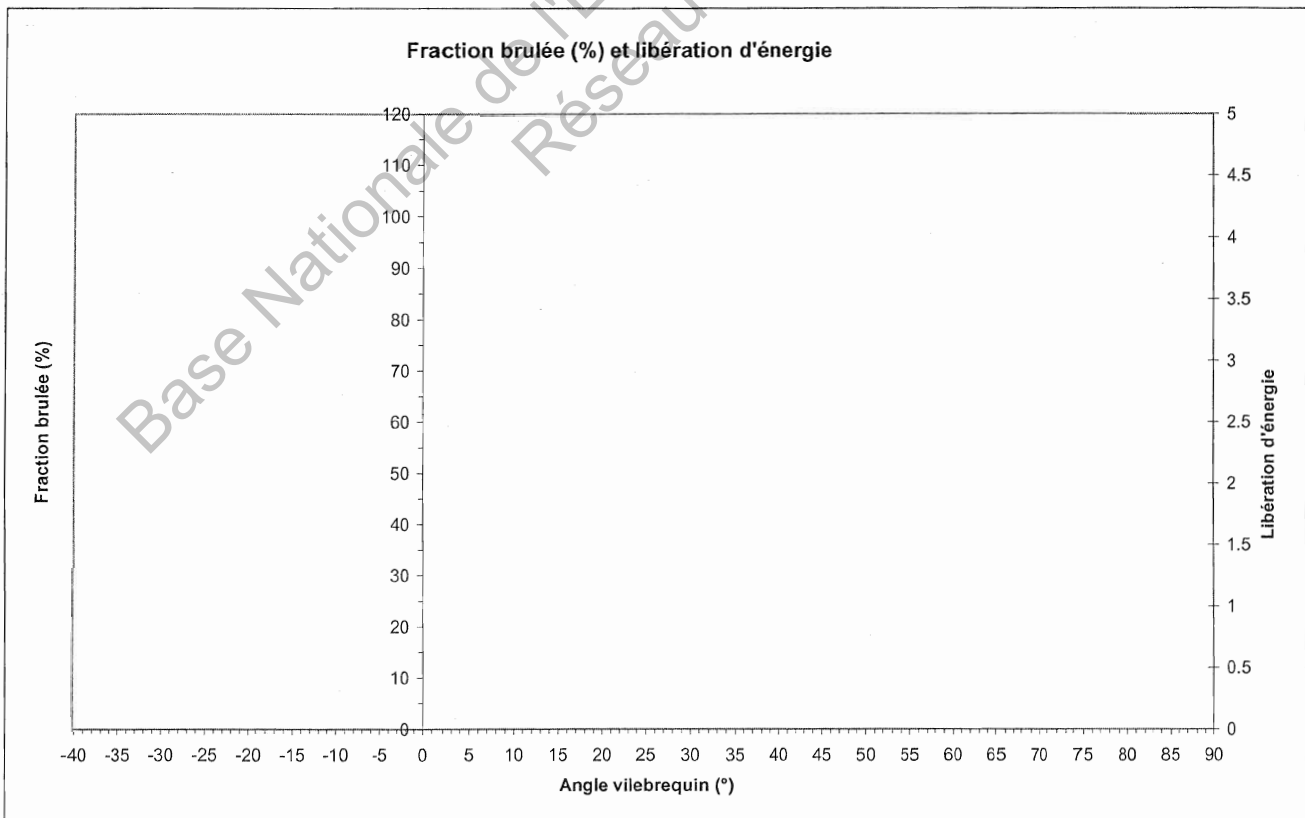
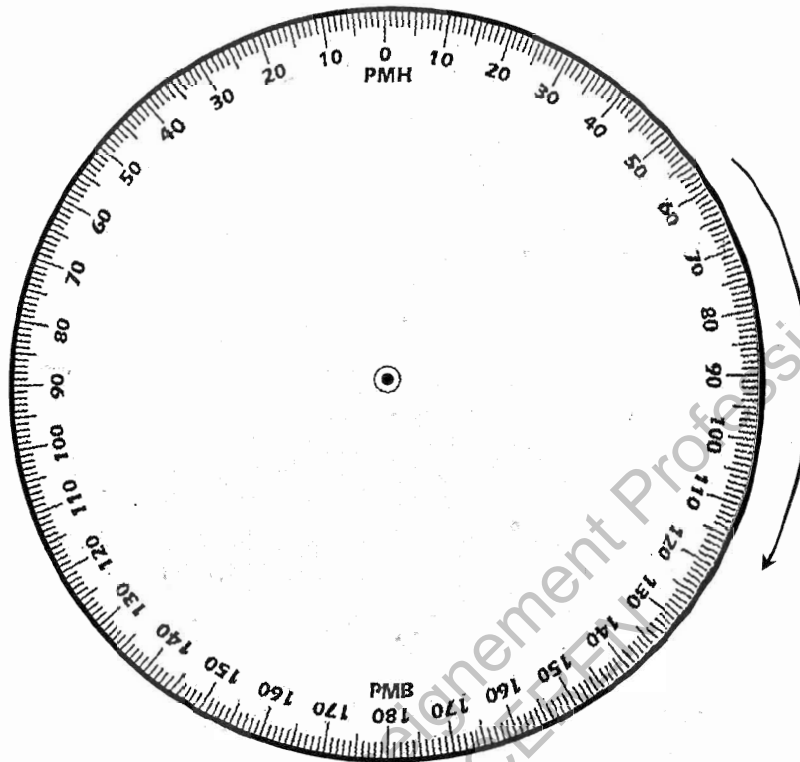


**Graphique 10**



# DOCUMENT REPONSE DR1

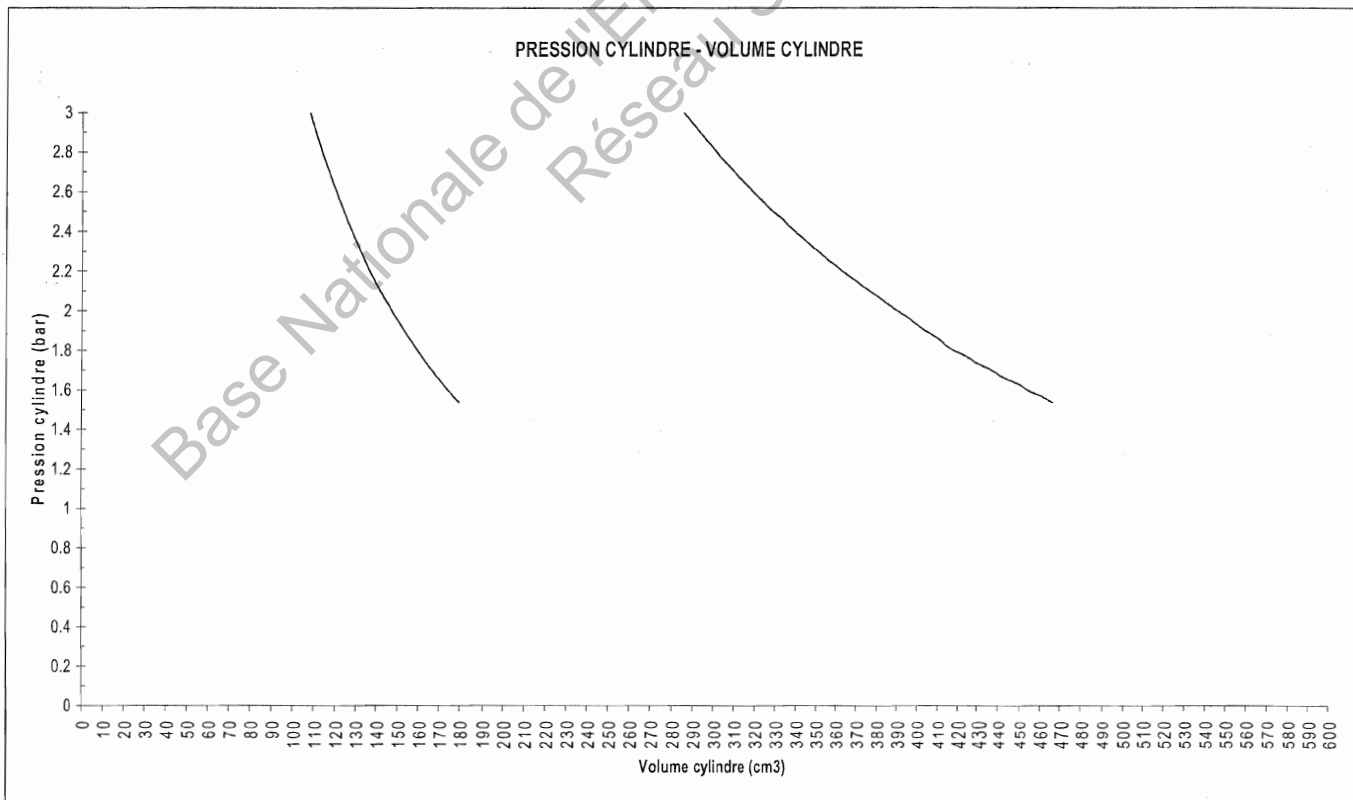
## Epure circulaire de distribution



# DOCUMENT REPONSE DR2

*Tableau réponse 1*

ESTIMATIONS GRAPHIQUES DES VARIATIONS pour une <u>augmentation de l'AA</u>			
GRANDEURS	valeur à l'AA mini	valeur à AA maxi	VARIATION
CA10(°)	- 1°	- 10°	- 9°
écart entre AA et CA10	25°	28°	+3°
CA50(°)			
CA90(°)			
étalement de la combustion(°)			
PCYL maxi(bar)			
angle de PCYL maxi			
HLC	4.5	5.5	+ 1



volume au PMH de 49.6 cm<sup>3</sup> - volume au PMB de 540.6 cm<sup>3</sup>

**DOCUMENT REPONSE DR3**

*Tableau réponse 2*

Cahier des charges	Configuration(s) position VVT / AA acceptable(s) respectant le cahier des charges					
CSE ≤ 400 g/kW.h	VVT1	25.5°	28.5°	31.5°	34.5°	37.5°
	VVT2					
	VVT3					
	VVT4		29.2			
Stabilité PMI < 1 %	VVT1					
	VVT2					
	VVT3					
	VVT4					
NOx mini	VVT1					
	VVT2					
	VVT3					
	VVT4					
HC mini	VVT1					
	VVT2					
	VVT3					
	VVT4					
CO mini	VVT1					
	VVT2					
	VVT3					
	VVT4					

**Choix final du VVT et de l'AA :**