

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR

MOTEURS A COMBUSTION INTERNE

SESSION 2004

ETUDE DES MOTEURS

U 52 Etude et analyse des moteurs

Durée: 3 h - Coefficient : 3

*AUCUN DOCUMENT AUTRE QUE LE SUJET N'EST AUTORISE.
L'USAGE DE LA CALCULATRICE EST AUTORISE.*

**Documents à rendre avec la copie : document D, page : 13/14
document E, page : 14/14**

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il soit complet.
Le sujet comporte 14 pages, numérotées de 2 à 14.

CODE EPREUVE : MOE5EAM		EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR	SPECIALITE : MOTEURS À COMBUSTION INTERNE	
SESSION 2004	SUJET	EPREUVE : ÉTUDE DES MOTEURS PARTIE ÉTUDE ET ANALYSE DES MOTEURS – U52		
Durée : 3h00	Coefficient : 3		Code sujet : 17NB04	Page : 1/14

Document 1

Présentation

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

- lecture du sujet : 10 minutes
- première partie : 1 heure et 15 minutes
- deuxième partie : 1 heure
- troisième partie : 15 minutes
- quatrième partie : 20 minutes

Les quatre parties sont indépendantes.

Chaque partie sera rédigée sur une copie séparée.

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

Le dossier du sujet est composé de :

- Document 1 :	Présentation, objectif et texte du sujet	page 2 à 4
- Document 2 :	Questionnaire de la première partie	page 5 et 6
- Document 3 :	Questionnaire de la deuxième partie	page 7 et 8
- Document 4 :	Questionnaire de la troisième partie	page 8
- Document 5 :	Questionnaire de la quatrième partie	page 9
- Document « A » :	Description des moyens d'essai	page 10
- Document « B » :	Principe des réseaux de Willans:	page 11
- Document « C » :	Rapport d'essai N°1	page 12
- Document « D » :	Document réponse 2 ^{ème} partie	page 13
- Document « E » :	Document réponse 2 ^{ème} et 3 ^{ème} partie	page 14

nombre total de pages : 14

- Les documents « D » et « E » sont à rendre par le candidat à la fin de l'épreuve

Texte du sujet

- La nécessité de réduire la consommation des véhicules passe par l'amélioration du rendement global des moteurs, particulièrement à charge partielle.
- Lors du fonctionnement d'un moteur à combustion interne, on constate un déficit énergétique entre l'introduction de l'énergie chimique sous forme de carburant et l'énergie mécanique recueillie sur l'arbre moteur.
- On sait que ces pertes sont dues au choix du cycle selon lequel fonctionne le moteur, à la réalisation imparfaite de ce cycle, aux imbrûlés et aux pertes organiques.

L'étude comprend quatre parties :

- 1^{ère} partie : - Identifier et quantifier les pertes pour un point de fonctionnement, et évaluer les différentes causes de pertes énergétiques en terme de rendement.
- 2^{ème} partie : - Evaluer les pertes par pompage à différents états de charge au cours d'un essai. La méthodologie retenue est l'exploitation des diagrammes de Willans.
- Vérifier à partir des résultats de ce même essai certaines caractéristiques d'un injecteur.
- 3^{ème} partie : - Déterminer graphiquement des points remarquables sur une courbe issue d'un essai.
- 4^{ème} partie : - Etude du traitement et de l'exploitation par le calculateur de l'information « pression collecteur ».

Moyens d'essais :

Cellule équipée d'un frein dynamométrique à courants de Foucault à régulation de régime, d'une balance massique de consommation et d'une baie d'analyse des gaz d'échappement.

Le moteur fonctionne avec son propre calculateur en bouclage de richesse ($R=1$), la commande du papillon s'effectue par actionneur.

La culasse a été instrumentée sur un cylindre (capteur de pression cylindre).

Pour chaque point de fonctionnement stabilisé, une acquisition automatique des paramètres suivants est effectuée : couple, régime, commande papillon, pression atmosphérique, pression absolue collecteur admission, pression absolue collecteur échappement, température air admission, consommation massique du carburant, CO, CO₂ et O₂ en % , HC et NO_x en ppm .

Par ailleurs, l'acquisition simultanée de la pression instantanée dans le cylindre et de la position du piston dans le cycle (grâce à un codeur angulaire) permet, après traitement mathématique, de relever le tracé du cycle réel.

Une description schématique du dispositif d'essai et de mesure est donnée pour information dans le document « A ».

Réalisation des essais :

Essai N°1

On effectue préalablement un essai avec le moteur en configuration d'origine (avances optimales, richesse =1 par ajustement du temps d'injection) afin d'en évaluer le rendement global et les pertes par pompages à charge partielle.

Les résultats de ce premier essai sont donnés sur le document « C ».

Essai N°2

On effectue ensuite un balayage de richesse (par action sur le temps d'injection T_i) dans le but de déterminer la richesse de puissance maxi.

Les résultats de ce second essai sont donnés sur le document « E ».

Document 2

1^{ère} PARTIE

1)-Calcul des rendements d'un moteur à 4 temps à allumage commandé.

Dénomination des rendements : on nommera

- η_{th} le rendement thermodynamique du cycle théorique
- η_f le rendement de forme
- $\eta_{comb.}$ le rendement de combustion
- $\eta_{méca}$ le rendement mécanique (ou organique)
- η_i le rendement indiqué
- η_g le rendement global (ou effectif)

Questions

1-1)- Ecrire la relation existant entre les différents rendements :

- $\eta_g = \dots\dots\dots$
- $\eta_i = \dots\dots\dots$

1-2)- Sachant que le moteur fonctionne selon un cycle Beau de Rochas, calculer le rendement η_{th} pour le moteur dont les caractéristiques sont mentionnées sur le document C (on prendra pour valeur du coefficient de Poisson $\gamma = 1,33$).

- Préciser la formule que vous utilisez pour calculer η_{th} .

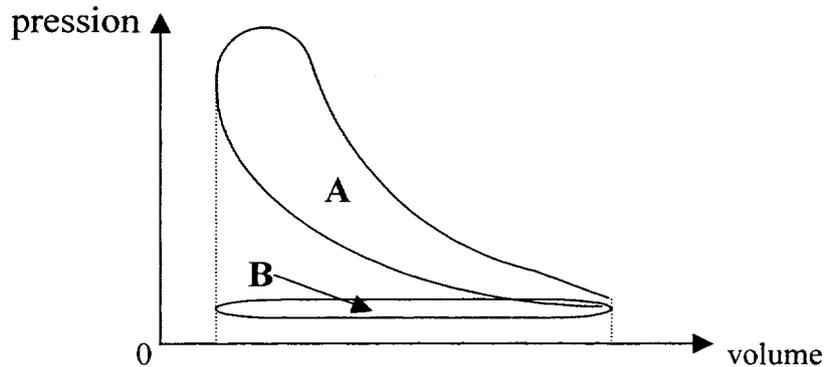
2)-Le moteur décrit sur le document C consomme à faible charge (**point de mesure B**) 1206 mg de carburant par seconde à 2075 tr/min.

Questions

2.1)- Calculer la masse de carburant participant à 1 cycle (pour un cylindre).

2.2)- Calculer le travail que doit fournir le cycle théorique (W_{th}) avec cette masse de carburant (en supposant la combustion complète).

3)-Le relevé du cycle réel (ou indiqué) a permis de mesurer le travail équivalent de la boucle motrice $W_i(A) = 270,6 \text{ J}$, ainsi que le travail équivalent de la boucle de pompage $W_i(B) = 30,64 \text{ J}$.



Questions:

- 3.1)- Calculer le travail indiqué.
- 3.2)- En déduire la valeur de la P.M.I (pression moyenne indiquée).

4)-Sachant que le couple est de $6,15 \text{ daN.m}$ à 2075 tr/min (point de mesure B, document C).

Questions:

- 4.1)- Calculer la puissance développée par le moteur à ce point de fonctionnement.
- 4.2)- En déduire la valeur de la P.M.E.
- 4.3)- Calculer la valeur du rendement global.
- 4.4)- Calculer la valeur de la P.M.F (pression moyenne de frottement).
- 4.5)- En déduire la valeur du rendement mécanique.

5)-La quantité d'énergie perdue en imbrûlés (chaleur non produite dans le cylindre lors de la combustion) est évaluée à $61,4 \text{ J}$ par cycle.

Questions:

- 5.1)- Calculer la valeur du rendement de combustion.
- 5.2)- Calculer la valeur du rendement de forme.
- 5.3)- Vérifier à partir des résultats précédents que les formules que vous avez proposées en 1-1 sont confirmées.

Document 3

2^{ème} PARTIE

1)- Pour le traitement de cette partie, un rappel du principe des diagrammes de Willans vous est proposé dans le document « B ».

Questions:

- 1.1)- Calculer la P.M.E pour les 6 points d'essai (A, B, C, D, E et F) du document C.
- 1.2)- Reporter les résultats de vos calculs dans le tableau du document réponse « D ».
- 1.3)- Tracer la caractéristique $P.M.E = f(\text{conso})$ sur le document réponse « D ».
- 1.4)- Déterminer la pression moyenne de Willans pour cet essai.
- 1.5)- Déterminer la consommation lorsque le moteur fonctionne à 2075 tr/mn à vide (couple nul).

2)- La valeur des pertes moyennes de frottement (P.M.F) à ce régime est considérée constante quelle que soit la charge. On prendra pour valeur $P.M.F = 0,86 \text{ Bar}$.

Question:

- 2.1)- Tracer sur le document réponse « D » la caractéristique des P.M.I en fonction de la consommation : $P.M.I = f(\text{conso})$.

3)- On peut évaluer les pertes par pompage en calculant une « pression moyenne de pompage » (P.M.P) à partir des pressions absolues régnant dans le collecteur d'admission et d'échappement :

- Soit : $P.M.P = \text{pression absolue échappement} - \text{pression absolue admission}$.

Questions :

- 3.1)- Calculer la pression moyenne de pompage pour chaque point d'essai.
- 3.2)- Reporter les résultats de vos calculs dans le tableau du document réponse « D ».
- 3.3)- Tracer la caractéristique sur le document « D ».

2^{ème} PARTIE : suite

4)- Considérons la droite passant par l'origine « O » et le point de fonctionnement « B » (point de mesure B du document C). Il existe une relation entre la pente « a » (ou coefficient directeur) de la droite (O-B) et le rendement global du moteur.

Questions :

4.1)- Montrer que $\eta_g = K \times a$.

4.2)- Calculer la valeur de la constante « K », et préciser son unité.

4.3)- Montrer qu'il existe également une relation entre la pente de cette droite et la consommation spécifique effective (C.S.E).

5)- A partir des informations contenues dans le tableau de résultats d'essais du document « C », on souhaite déterminer graphiquement la caractéristique de l'injecteur :

$$Q \text{ injecté (mg/coup) } = f [T_i(\mu\text{s})]$$

Questions :

5-1)- Tracer cette caractéristique sur le document « E ».

5-2)- Déterminer graphiquement le temps mort de l'injecteur.

Document 4

3^{ème} PARTIE

1)- Sur le document « E » figure le relevé de la P.M.E en fonction de la consommation pour différentes richesses (balayage de richesse) à pleine ouverture du papillon.

Questions :

1.1)- Déterminer graphiquement la richesse de rendement maxi, ainsi que la P.M.E correspondante.

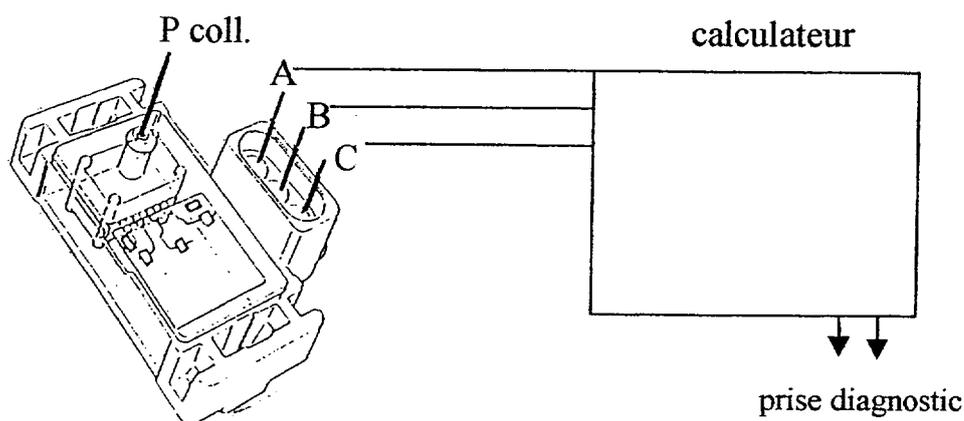
1.2)- Déterminer graphiquement la richesse de puissance maxi, ainsi que la P.M.E correspondante.

1.3)- Sans effectuer de calculs, que pouvez vous dire de la consommation spécifique effective aux points d'essai à richesse $R= 0,8$ et $R= 0,9$. Justifier votre réponse.

Document 5

4^{ème} PARTIE

1)- L'un des paramètres utilisé par le calculateur pour déterminer la masse d'air admise par cycle est la valeur de la pression régnant dans le collecteur (P coll.). L'information « P coll. » est convertie en tension analogique par un capteur à jauges piezo – résistives.



Capteur de pression absolue

A-C : 5 volts

B-C : tension analogique (Us)

La caractéristique de sortie du capteur (Us) est de la forme :

$$U_s = a * P \text{ coll.} + b$$

Pour P coll. = 103 mbar : $U_s = 0$ volt

Pour P coll. = 1046 mbar : $U_s = 5$ volts

L'information analogique est convertie par le calculateur en valeur numérique sous 8 bits :

Pour $U_s = 0$ volt : valeur numérique en décimal = 0

Pour $U_s = 5$ volts : valeur numérique en décimal = 255

La valeur numérique image de la pression lue par le calculateur peut être lue par le truchement de la prise diagnostic.

Questions :

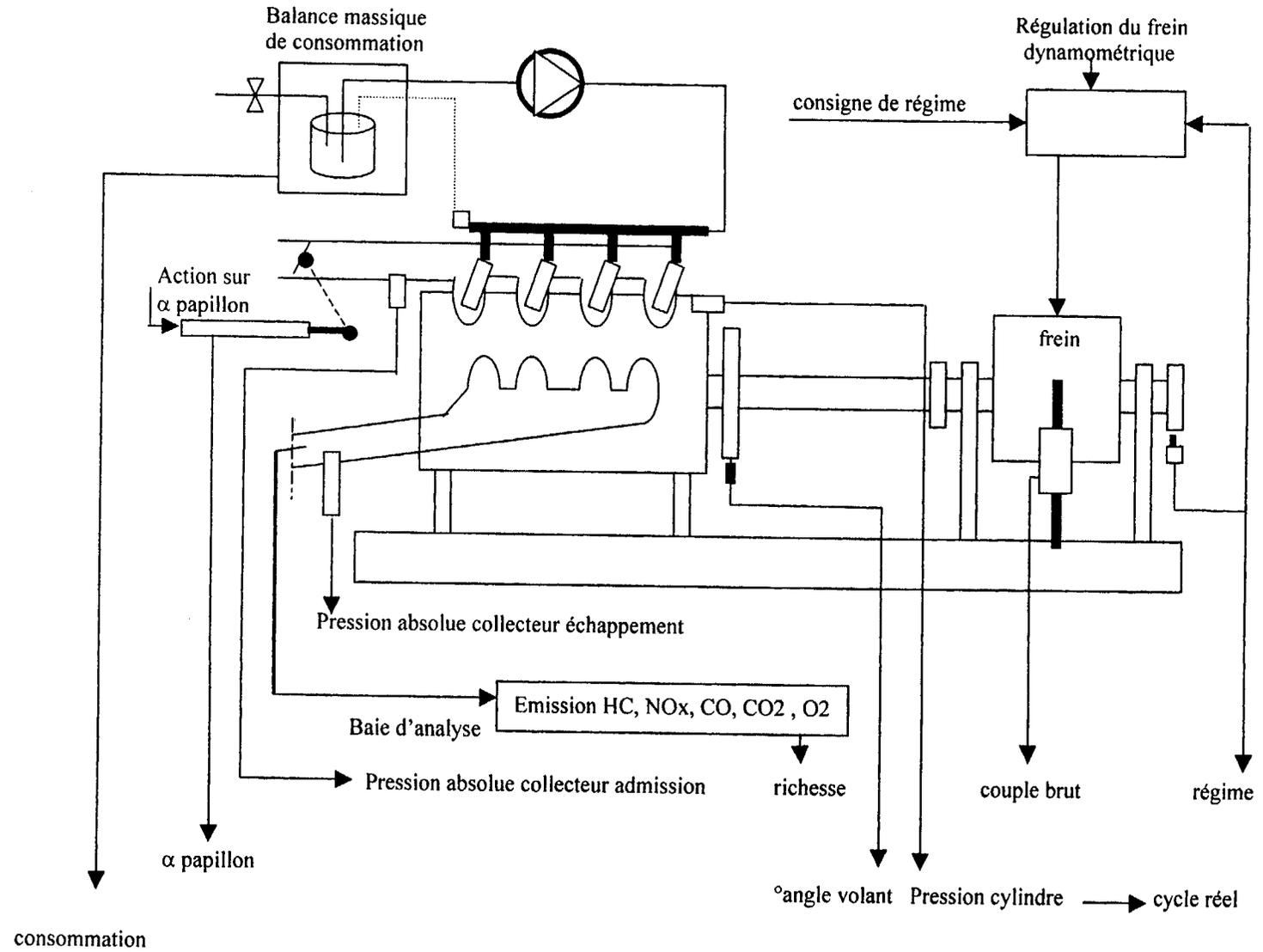
1.1)- Tracer la caractéristique de la P coll. en fonction de la valeur numérique lue.

1.2)- Quelle est la valeur de la résolution.

1.3)- Quelle est la valeur de l'offset.

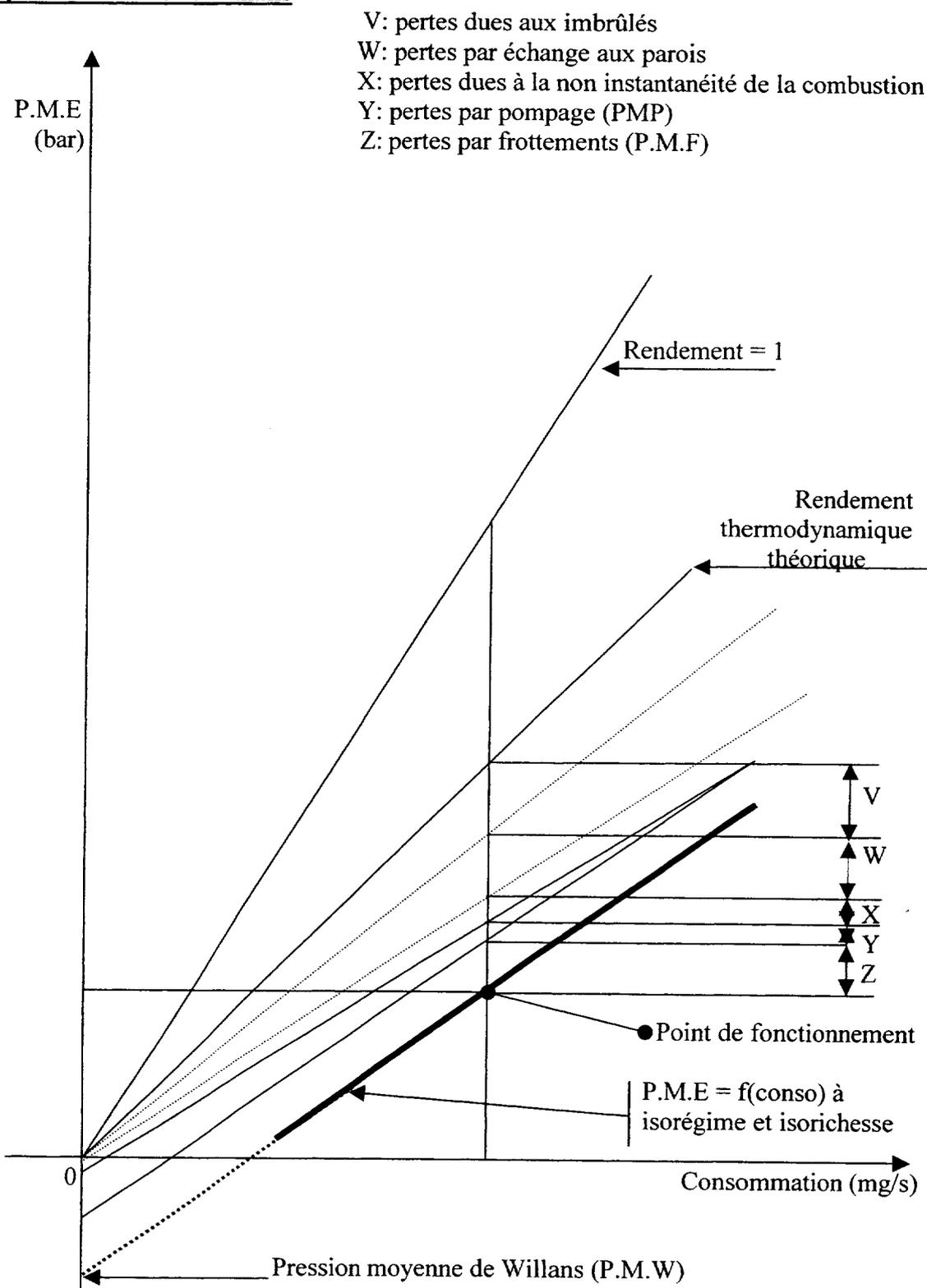
1.4)- Calculer la valeur lue de la P coll. lorsque le calculateur affiche une valeur numérique de 128.

DOCUMENT A : moyens d'essai



DOCUMENT B

Principe des réseaux de Willans



DOCUMENT C

Paramètres moteur :

Il s'agit d'un moteur 4 temps :

- Alésage : 88mm
- Course : 89mm
- Rapport volumétrique : 9
- Nombre de cylindres : 4
- Nombre de soupapes par cylindre : 3
- Type d'injection : séquentielle Bosch (une injection par cycle)

Paramètres carburant :

- Rapport H/C : 1.840
- Indice d'octane : 95.6
- Masse volumique : 0.743kg/dm³
- pouvoir comburivore : 14.46
- P.C:I = 44000 KJ/kg

Paramètres essai :

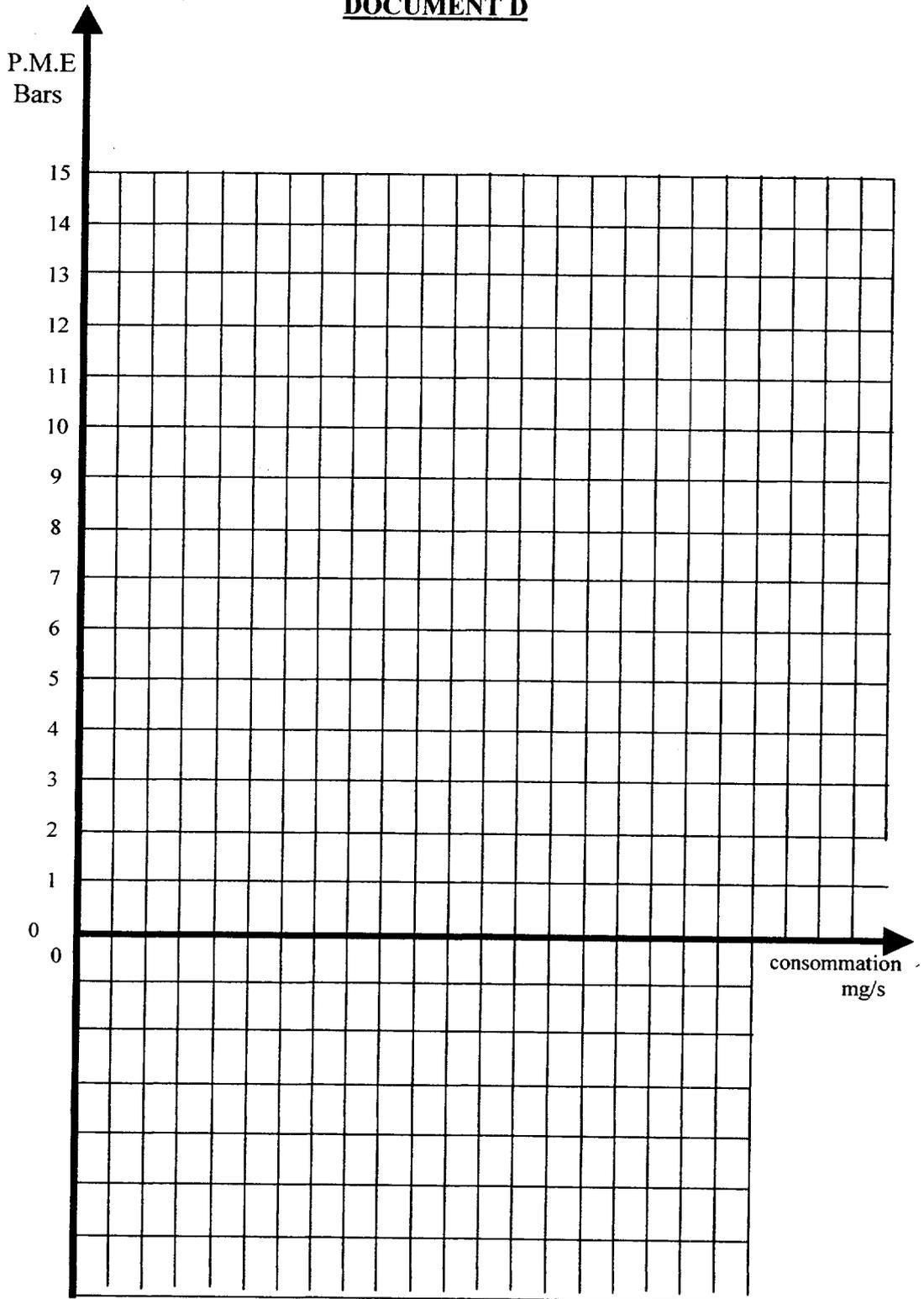
- Isorégime à 2075 tr/min
- Pression atmosphérique : 1021,1 m.bars

Facteur de correction : k=1

Point de mesure	A	B	C	D	E	F
Commande papillon (%)	30	35	41	47	54	100
Couple corrigé (daN.m)	3.77	6.15	8.52	10.88	13.44	15.43
Température air admission (°C)	21	20.8	21	21.1	21.2	21.3
Hygrométrie relative (%)	31	30	31	31	32	33
Temps d'injection (µs)	2721	3483	4275	5074	6046	6752
Consommation (mg/s)	914	1206	1512	1806	2148	2400
Richesse 5 gaz	1.003	1.004	1.002	1.000	1.002	1.001
Pression absolue collecteur admission (m.bar)	451	565	678	789	912	1013
Pression absolue collecteur échappement (m.bar)	1026	1031	1037	1043	1052	1059

A RENDRE AVEC LA COPIE

DOCUMENT D

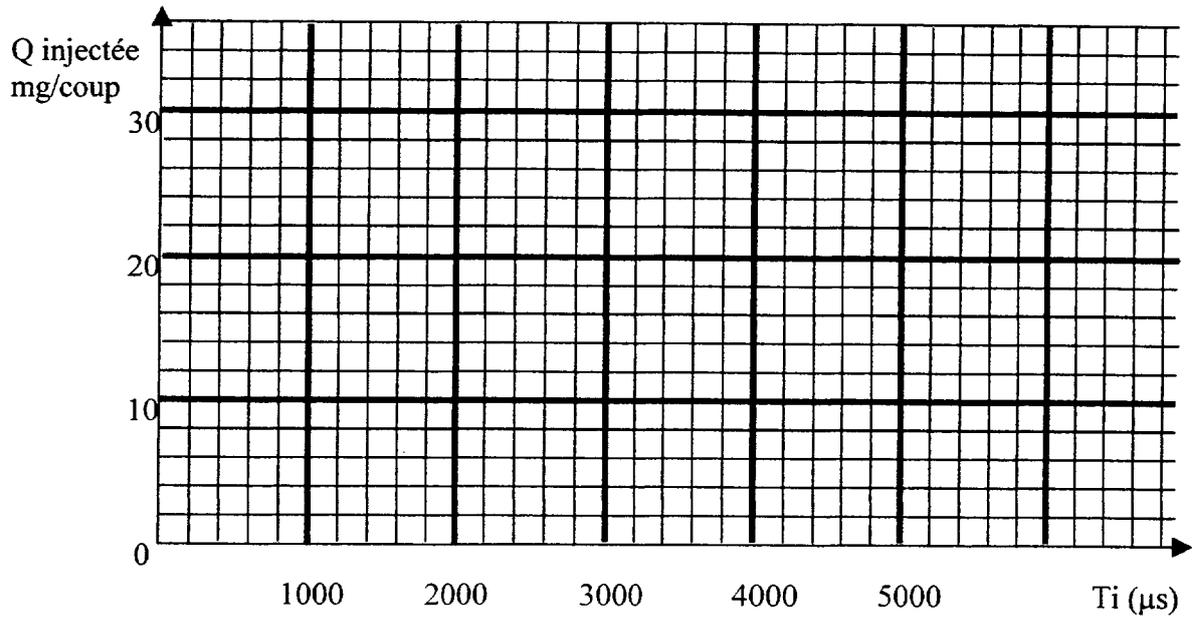


point de mesure	A	B	C	D	E	F
P.M.E (bar)						
P.M.P (bar)						

A RENDRE AVEC LA COPIE

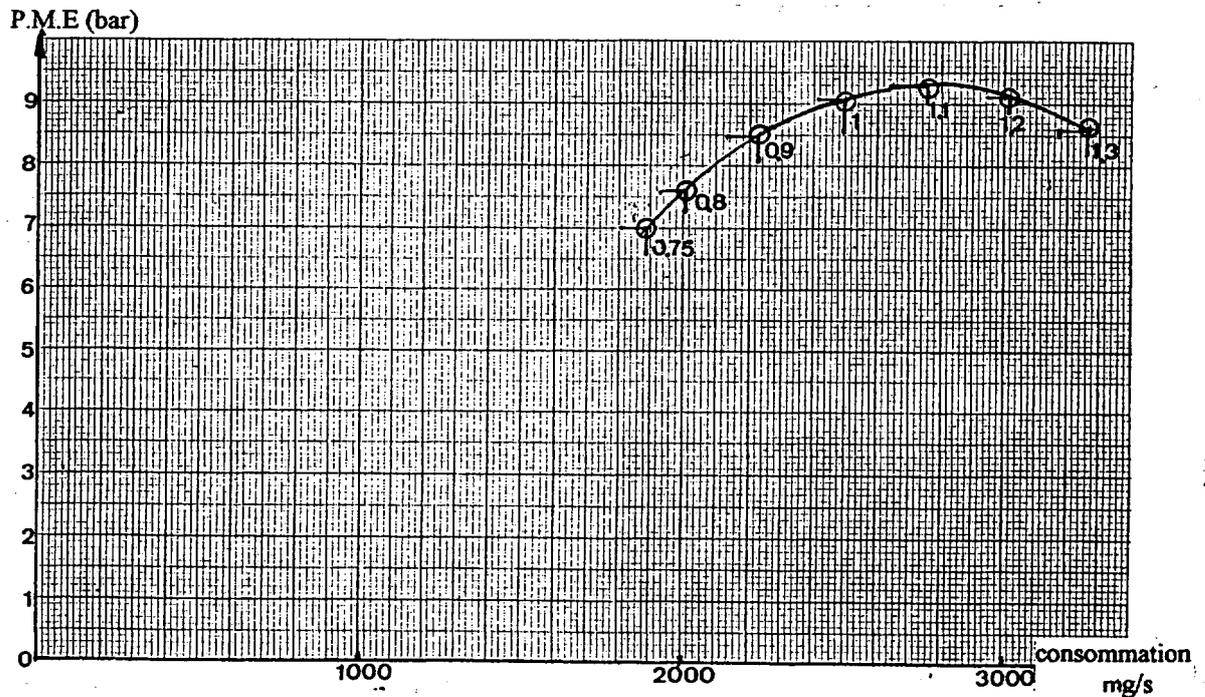
DOCUMENT E

Caractéristique d'un injecteur.



Essai N°2 : balayage de richesse. Régime = 2075 tr/min P coll. = 1013 mbar

Richesse	0.75	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3
Consommation (mg/s)	1885	2011	2262	2514	2765	3016	3268
P.M.E (Bar)	7	7.6	8.5	9.05	9.25	9.1	8.6
Ti (µs)	5610	5704	6351	7050	7748	8392	9110



CORRIGE

Ces éléments de correction n'ont qu'une valeur indicative. Ils ne peuvent en aucun cas engager la responsabilité des autorités académiques, chaque jury est souverain.

SUJET U 52

CORRIGE QUESTIONNAIRE 1^{ère} PARTIE

1-1 : $\eta_g = \eta_{th} * \eta_f * \eta_{comb} * \eta_{méca}$
 $\eta_i = \eta_{th} * \eta_f * \eta_{comb}$

1-2 : $\eta_{th} = K = \frac{3,57}{44 * 10^{-3}} = 81,14 \text{ bars} * \text{mg/kJ}$ $\eta_{th} = 51,57\%$

2-1 : masse de carburant par cycle : $m_c = 17,436 \text{ mg / cycle}$

2-2 : $m_c * P.C.I = 767,19 \text{ J / cycle}$
 $W_{th} = 395,64 \text{ J / cycle}$

3-1 : $W_i = 239,96 \text{ J / cycle}$

3-2 : $P.M.I = 4,43 \text{ bar}$

4-1 : $P \text{ effective} = 13,36 \text{ kW}$

4-2 : $P.M.E = 3,57 \text{ bar}$

4-3 : $\eta_{global} = 0,252 = 25,2\%$

5-1 : $P.M.F = P.M.I - P.M.E = 0,86 \text{ bar}$

5-2 : $\eta_{méca} = 0,805 = 80,5\%$

6-1 : $\eta_{comb} = 0,92 = 92\%$

6-2 : $\eta_f = 0,659 = 65,9\%$

7- : $0,5157 * 0,659 * 0,92 * 0,805 = 0,252$ (résultat trouvé en 4-3)

*Prière de vérifier si l'encadré d'échelle
sur document "E" a été corrigé
fait le 18/10/12001*

CODE EPREUVE : MOE5EAM		EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR	SPECIALITE : MOTEURS A COMBUSTION INTERNE
SESSION 2004	CORRIGE	EPREUVE : ETUDE DES MOTEURS Etude et analyse des moteurs -U52-	
Durée : 3h00	Coefficient : 3		Code sujet : 17NB04 Page : 1/6

CORRIGE QUESTIONNAIRE 2^{ème} partie

1-1 : Calcul de la P.M.E :

Point	A	B	C	D	E	F
P.M.E	2,19	3,57	4,94	6,31	7,8	8,95

1-2 : tableau bas du document « D »

1-3 : graphe sur document « D »

1-4 : P.M.W = 2 bar

1-5 : consommation à vide = 420 mg/s

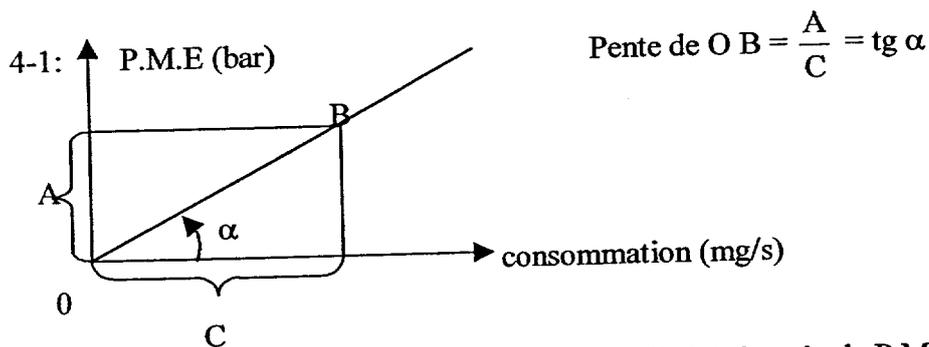
2-1 : voir document « D »

3-1 : Calcul de la P.M.P

Point	A	B	C	D	E	F
P.M.P	0,575	0,466	0,359	0,254	0,140	0,046

3-2 : tableau bas du document « D »

3-3 : graphe sur document « D »



On montre que à régime constant, et pour une cylindrée donnée, la P.M.E est proportionnelle à la puissance effective, et le débit de carburant est l'image de la puissance introduite.

ordonnée : $P.M.E = \frac{1200 * P_e}{N * V}$ avec $N = 2075 \text{ tr/min}$ et $V = 2165 \text{ cm}^3$

A : P effective = P sortie = 3,74 kW par bar de P.M.E

abscisse : puissance fournie sous forme de carburant = Pentrée

C : Pentrée = conso * P.C.I = conso(mg/s) * $44 * 10^{-3} \text{ kJ/mg}$

C : $44 * 10^{-3} \text{ kW}$ par mg /s de consommation

soit pour le point B : $\frac{A}{C} = \frac{3,74 * 3,57}{1206 * 44 * 10^{-3}} = 0,252 = \eta_{\text{global}}$

Calcul de la constante :

$$K = \frac{3,57}{44 * 10^{-3}} = 81,14 \text{ bars} * \text{mg/kJ}$$

$$7 : Cse = \frac{\text{conso (g/h)}}{Pe(\text{kW})} = \frac{\text{conso} * 3,6}{\text{P.M.E} * 3,74} \text{ avec } \frac{\text{conso}}{\text{P.M.E}} = \frac{1}{a} \text{ et } Cse = \frac{0,96}{a}$$

CORRIGE QUESTIONNAIRE 2^{ème} PARTIE (SUITE)

Pour le point B : $Cse = \frac{1206}{3,57} * 0,96 = 325,2 \text{ g/kW} * h$

5-1 : Voir document « E »

5-2 : voir document « E »

CORRIGE QUESTIONNAIRE 3^{ème} PARTIE

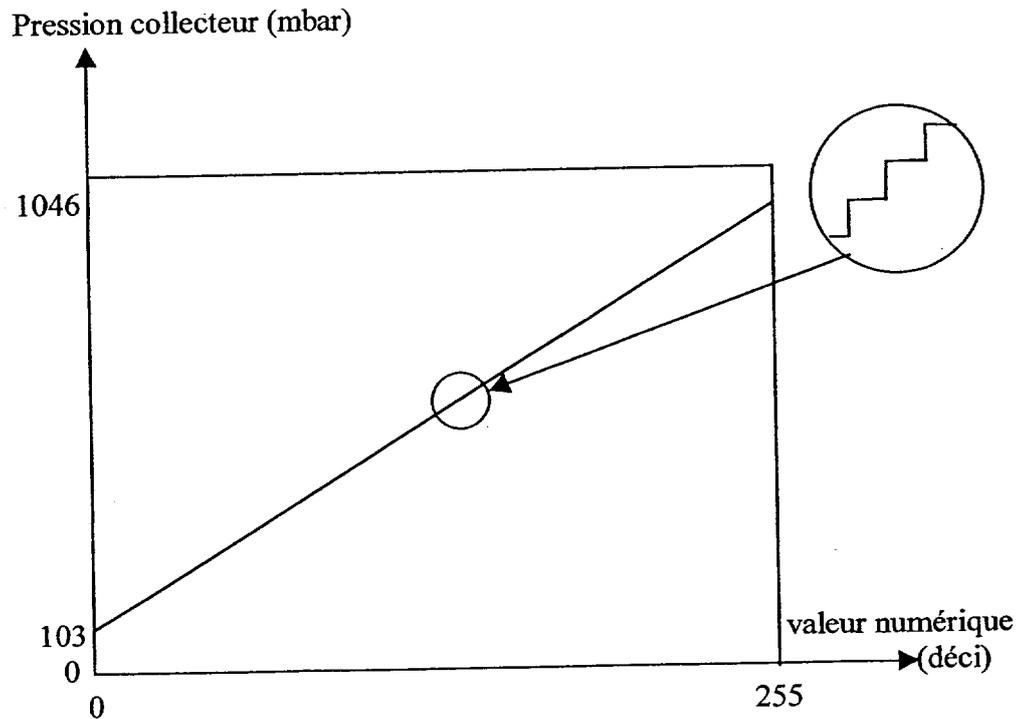
1-1 : Voir document « E »

1-2 : voir document « E »

1-3 : Les points d'essai aux richesses 0,8 et 0,9 étant situées sensiblement sur une même droite passant par l'origine sont donc des points de fonctionnement à même rendement global. La C.S.E pour ces deux points de fonctionnement est par conséquent la même.

CORRIGE QUESTIONNAIRE 4^{ème} PARTIE

1 :-

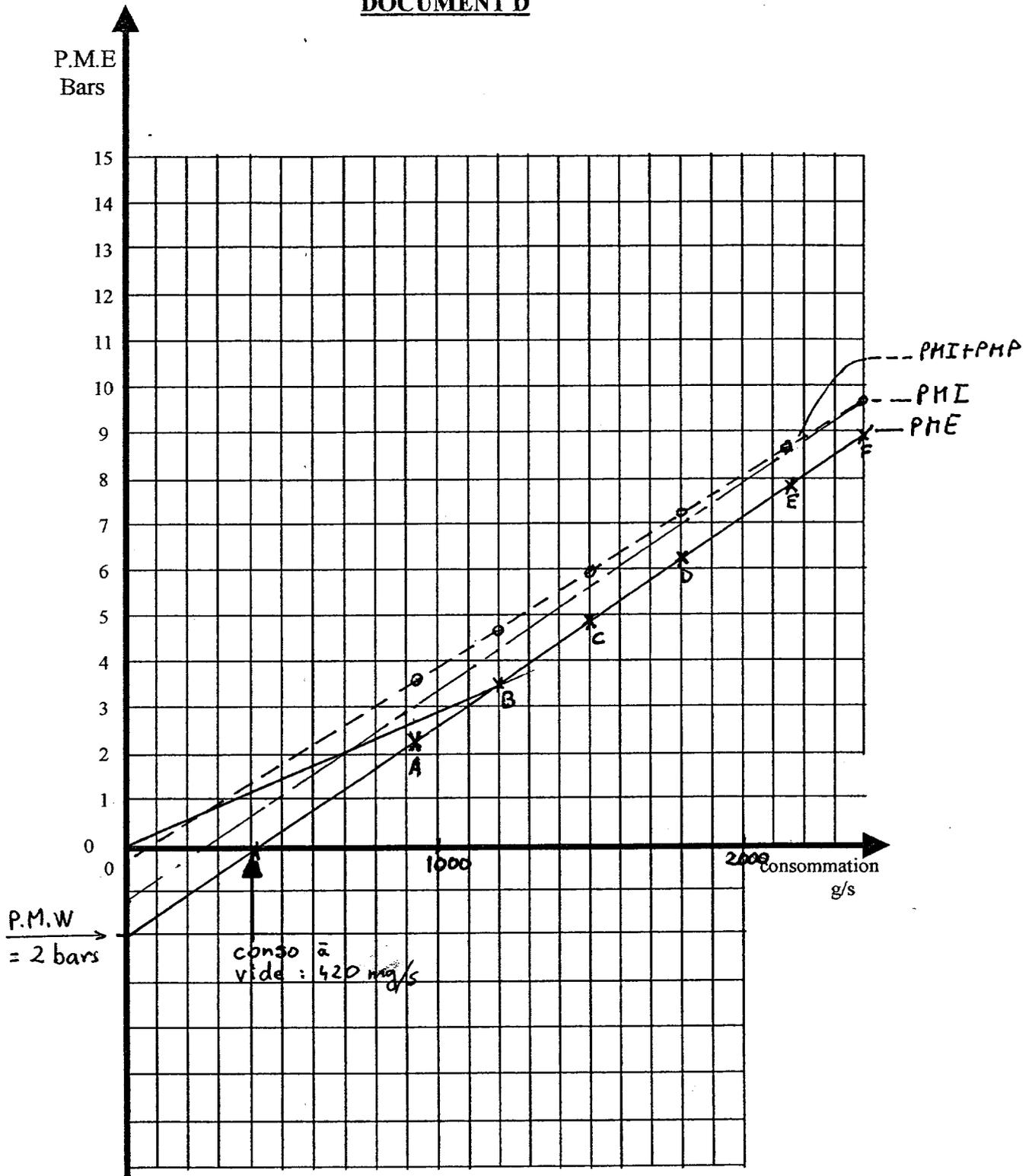


2 : résolution : $R = \frac{1046 - 103}{255} = 3,698 \text{ mbar / bit}$

3 : Offset = 103 mbar

4 : Pour une valeur numérique de 128 : $P_{coll} = 128 * 3,698 + 103 = 576 \text{ mbar}$

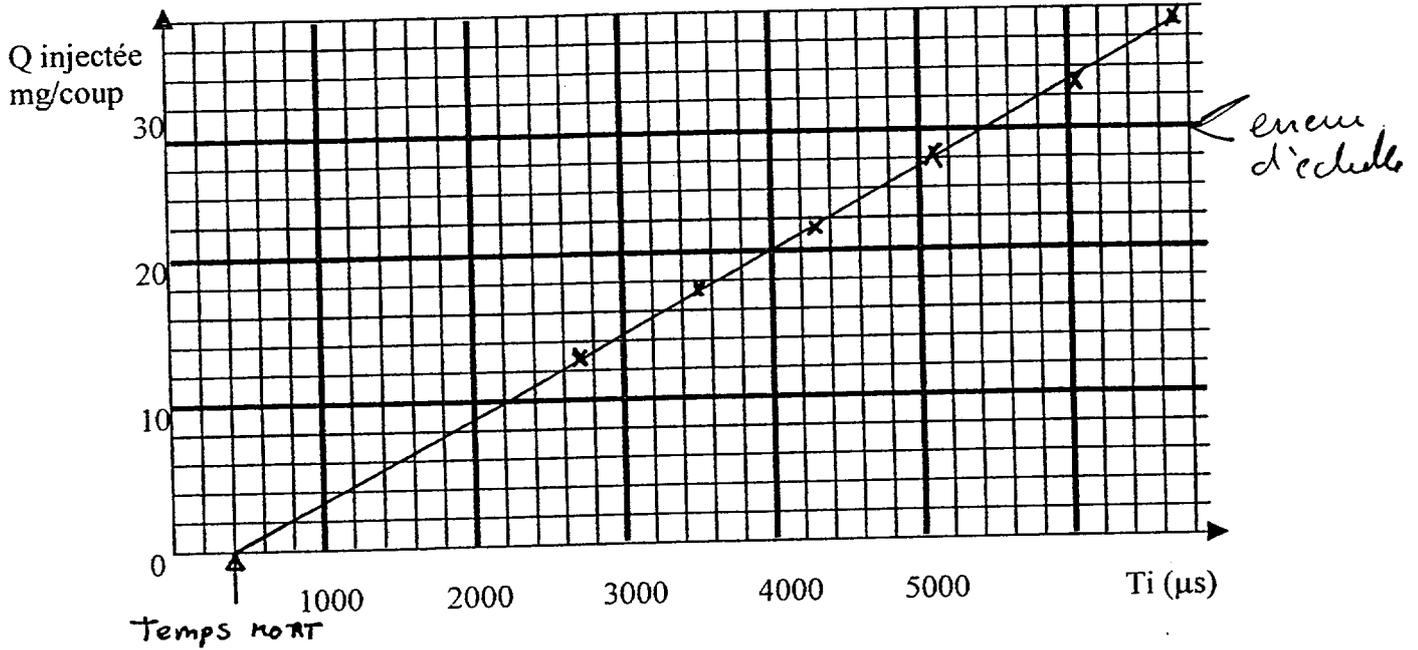
DOCUMENT D



point de mesure	A	B	C	D	E	F
P.M.E (bar)	2,19	3,57	4,94	6,31	7,8	8,95
P.M.P (bar)	0,1575	0,1466	0,1359	0,1254	0,1140	0,1046

DOCUMENT E

Caractéristique d'un injecteur.



Essai N°2 : balayage de richesse. Régime = 2075 tr/min P coll. = 1013 mbar

Richesse	0.75	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3
Consommation (mg/s)	1885	2011	2262	2514	2765	3016	3268
P.M.E (Bar)	7	7.6	8.5	9.05	9.25	9.1	8.6
T_i (μs)	5610	5704	6351	7050	7748	8392	9110

