

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

MOTEURS À COMBUSTION INTERNE

Session 2016

ÉTUDE DES MOTEURS U51 – EXPLOITATION D'ESSAIS MOTEUR

Durée : 3 heures – Coefficient : 3

Documents et matériels autorisés :

Aucun document autre que le sujet n'est autorisé.

Moyens de calculs autorisés :

Matériel autorisé

Une calculatrice de poche à fonctionnement autonome, sans imprimante et sans moyen de transmission, à l'exclusion de tout autre élément matériel ou documentaire (Circulaire n°99-186 du 16 novembre 1999 ; BOEN n°42).

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

Le sujet comporte 12 pages numérotées de la façon suivante :

- La présentation de l'étude et les objectifs des différentes parties : page 2
- Le texte du sujet : pages 3 à 6
- Les documents de données techniques, DT1 et DT2 : pages 7 et 8
- Les documents réponses à rendre **obligatoirement** référencés DR1, DR2.1, DR2.2, DR2.3 : pages 9 à 12

CODE ÉPREUVE : 1606MOE5EEM		EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : MOTEURS À COMBUSTION INTERNE	
SESSION 2016	SUJET	ÉPREUVE: ÉTUDE DES MOTEURS EXPLOITATION D'ESSAIS MOTEURS - U51			Calculatrice autorisée : oui
Durée : 3h	Coefficient : 3	Code sujet : 09ED15		Page : 1/12	

ANALYSE MOTEUR

Présentation

Un motoriste développe un moteur gaz naturel pour des tracteurs grands routiers à partir d'une base moteur diesel. Ce projet en GNV (Gaz Naturel pour Véhicule) a pour objectif d'atteindre une puissance forte (Pression Moyenne Effective de 24 bars) et de respecter la norme EURO VI.

L'objectif de l'étude est de choisir l'excès d'air de fonctionnement, sur un point faiblement chargé avec une PME de 5 bars au régime de 1500 tr/min, par rapport à un cahier des charges pour respecter la norme antipollution.

Lecture du sujet 10 minutes

L'étude comprend quatre parties indépendantes :

- **Première partie** : Étude du carburant (Méthane et GNV) 50 min
- **Deuxième partie** : Calcul des performances moteur en fonction du balayage de l'excès d'air λ 40 min
- **Troisième partie** : Calcul et analyse des émissions spécifiques de polluants 50 min
- **Quatrième partie** : Choix du λ à partir du cahier des charges 30 min

La clarté des réponses, la précision de l'argumentation et la présentation seront prises en compte dans la notation.

1^{ère} partie : Étude du carburant (DT1 et DR1)

Dans cette partie, on assimilera le GNV à du méthane pur à 100 % (CH₄).

L'objectif est de calculer les caractéristiques associées au méthane.

Des informations indispensables sont données dans le tableau de valeurs générales du document technique 1.

Questions :

1.1 - Calculer la masse volumique du méthane « ρ_{CH_4} », en g par dm³, dans les conditions normales à 0°C et 1013 mbar.

1.2 - Calculer le pouvoir calorifique inférieur du CH₄ en kWh par normal litre (kWh/NL) ; c'est l'énergie contenue dans un litre de carburant sous forme gazeuse dans les conditions normales (0°C et 1013 mbar).

1.3 - Calculer la masse de CH₄, en g, nécessaire pour produire un kWh.

1.4 - Écrire l'équation de la combustion à la stœchiométrie ($\lambda = 1$) et en déduire le pouvoir comburivore « PCO » du méthane.

1.5 - Calculer le dosage volumique « d_v » à partir de l'équation de combustion entre le méthane et l'air puis en déduire la place prise par le méthane par rapport à l'air en % pour un $\lambda = 1$.

1.6 - À partir de l'équation de combustion, calculer le rapport masse de CO₂ sur masse de carburant et à partir de la réponse à la question 1.3 en déduire la masse de CO₂ en g par kWh dégagée par la combustion stœchiométrique avec l'air standard.

Reporter les résultats précédents dans le tableau 1 du document réponse 1.

1.7- À partir du tableau 1 du document réponse 1, expliquer pourquoi les valeurs caractéristiques du GNV et du méthane sont différentes en 2 lignes maximum.

1.8- À partir du tableau 1 du document réponse 1, donner deux avantages et un inconvénient du GNV par rapport à l'essence.

2^{ème} partie : Performances moteur (DT1 et DR1)

Calcul des performances moteur en fonction de la variation de l'excès d'air à iso PME et iso régime. Le carburant utilisé est le GNV.

Toutes les valeurs numériques seront à calculer pour un lambda de 1,04 et elles seront à reporter dans le tableau 2 du document réponse 1. Des informations indispensables sont données dans le tableau valeurs générales du document technique 1 et dans le tableau 2 du document réponse 1.

Énergie introduite :

2.1 - Écrire la relation entre le débit massique de GNV ($q_{m_{GNV}}$) fonction du débit massique d'air ($q_{m_{air}}$) puis calculer le débit massique de GNV en g/s à partir des données du tableau 2 pour un lambda de 1,04.

2.2 - Écrire la définition du remplissage en air standard (r_{st})(phrase + unités) puis calculer cette valeur pour un lambda de 1,04.

2.3 - Expliquer sur quels paramètres on agit pour faire varier le λ tout en restant à iso PME sur cet essai (3 lignes maximum).

Rendement et énergie de sortie :

2.4 - Calculer la valeur du couple effectif (C_e) en daN.m imposé par le cahier des charges de l'essai (PME de 5 bars).

2.5 - Donner les définitions du rendement effectif (η_e) et de la consommation spécifique effective (C_{se}) (*relations + unités*), et calculer ces 2 valeurs dans l'ordre de votre choix pour un lambda de 1,04.

2.6 - Donner les définitions par des relations du rendement indiqué (η_i) et du rendement mécanique (η_m) et calculer le rendement indiqué et le rendement mécanique pour un lambda de 1,04 dans l'ordre de votre choix.

Bilan thermique :

Pour mieux analyser l'influence du balayage de l'excès d'air, le constructeur réalise un bilan thermique en puissance. Toutes les valeurs numériques seront à calculer pour un lambda de 1,04.

2.7 - Donner la définition d'un bilan thermique au niveau du vilebrequin et citer six puissances usuelles qui le composent.

2.8 - Écrire la définition de la puissance introduite (P_{int}) (*relations + unités*) appelée aussi puissance calorifique (P_{cal}) et retrouver cette valeur pour un lambda de 1,04.

2.9 - Calculer la puissance effective (P_e) et retrouver le % de la puissance effective au vilebrequin pour un lambda de 1,04.

2.10 - Calculer le % de la puissance thermique ou puissance sensible à l'échappement ($P_{Sens\ Ech}$) pour un lambda de 1,04 en expliquant votre démarche (5 lignes minimum).

2.11 - Remplir le tableau 2 du DR1 en reportant les valeurs calculées précédemment.

3^{ème} partie : Calculs et analyse des polluants en fonction de lambda (DT1, DT2, DR2.1, DR2.2)

L'objectif de cette partie est d'exprimer les émissions de polluants, en particulier des oxydes d'azote (NO_x), en g/kWh à partir des concentrations mesurées avec la baie pollution et de commenter l'évolution des polluants en fonction de l'excès d'air lambda. L'essai est toujours réalisé à iso PME (5bars) et iso régime (1500 tr/min).

La concentration de NO_x est mesurée en gaz secs (vapeur d'eau condensée avant analyse des gaz).

Toutes les valeurs numériques seront à calculer pour un lambda de 1,12.

Des informations indispensables sont données dans le tableau valeurs générales du document technique 1 et dans le tableau d'essai du document technique 2 .

Questions :

3.1- Formuler l'hypothèse qui vous permettra de calculer le débit massique d'échappement en supposant que le débit de blow-by est négligé.

3.2- Exprimer le débit massique en base humide des gaz d' échappement ($qm_{échH}$) en g/s à partir des données du tableau du DT2. Calculer sa valeur pour le point correspondant à un lambda de 1,12.

3.3- Exprimer le débit massique en base sèche des gaz d' échappement ($qm_{échS}$) en g/s. Calculer sa valeur pour le point de fonctionnement correspondant à un lambda de 1,12.

- Commenter l'évolution du débit massique **d'H₂O de l'air ambiant, présent dans les gaz d'échappement** ($qm_{EauAirAmb}$) en fonction de lambda. Justifier son évolution par un argument.

- Commenter l'évolution du débit massique **d'H₂O de combustion** ($qm_{EauComb}$) en fonction de lambda. Justifier son évolution par un argument.

3.4- Détermination du débit massique de NO_x en base sèche

Le débit massique de NO_x en base sèche s'exprime de la manière suivante :

$$qm_{NOx} = \frac{qm_{échS}}{\rho_{échap}} \times [NO_x] \times \rho_{NOx} \times 10^{-6}$$

- Que représente $\frac{qm_{échS}}{\rho_{échap}} \times [NO_x]$? Expliquez en 2 lignes maximum.

- Exprimer la relation entre la masse volumique d'un gaz et sa masse molaire.

- En déduire l'expression du qm_{NOx} en prenant en compte les masses molaires.

- Calculer sa valeur pour le point de fonctionnement correspondant à un lambda de 1,12.

3.5- Calculer l'émission spécifique de NO_x en g/kWh pour le lambda de 1,12 et positionner ce point sur le graphe NO_x = f(λ) du document réponse 2.2.

3.6- Commenter et justifier l'allure des NO_x = f(λ) en 3 lignes maximum (DR2.2).

3.7- Dans les HC totaux, on distingue les HC méthaniques ($HC_{Méth}$) qui sont du CH_4 et les HC non méthaniques (NMHC) qui regroupent l'ensemble des autres HC.

Commenter l'allure des HC totaux = $f(\lambda)$ et des $HC_{Méth} = f(\lambda)$ en 3 lignes maximum (DR2.2).

Justifier l'origine de cette évolution.

3.8- Comparer les évolutions du CO_2 en g/kWh et de la Cse en g/kWh en $f(\lambda)$ (DR2.1).

Pour 2 valeurs de λ de votre choix calculer le rapport CO_2/Cse puis conclure.

4^{ème} partie : Choix de la valeur de lambda à retenir pour ce point de fonctionnement (indépendamment du dispositif de post traitement)

À partir du cahier des charges donné ci-dessous,

4.1- Positionner les différentes limites sur les graphes (DR2.1, DR2.2, DR2.3).

4.2- Choisir la valeur de lambda à retenir **en justifiant votre choix** en 5 lignes maximum.

Cahier des charges : Sans ordre de priorité

- Instabilité maximum < 5%
- CO maximum < à 12 g/kWh
- HC méthanique maximum < à 8 g/kWh
- HC Totaux maximum < à 8,2 g/kWh
- NO_x maximum < à 18 g/kWh
- Température avant turbine maximale : $T_{avTurbine} < 750^\circ C$
- Température maximale de combustion : 2400 K
- Cse : Valeur minimum

Document technique 1 (DT1)

Valeurs générales

Caractéristiques du moteur :

- Moteur 6 cylindres, 4 temps, suralimenté, allumage commandé
- Cylindrée totale : $V_T = 9,36 \text{ dm}^3$
- Rapport volumétrique : $\varepsilon = 10,3$

Conditions d'essais :

- Régime de l'essai : $N = 1500 \text{ tr/min}$
- Excès d'air des différents essais : $1 < \lambda < 1,5$
- **PME = 5 bars**
- **Essai réalisé à Avance à l'Allumage optimale**

Conditions d'essais standards :

- Pression atmosphérique humide : $P_1 = 10^5 \text{ Pa}$
- Température de l'air d'admission : $\theta_1 = 25 \text{ °C}$

Caractéristiques des gaz parfaits :

- Constante universelle des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Masse atomique : C = 12, H = 1, O = 16 et N = 14

Caractéristiques de l'air :

- Constante d'état de l'air : $r_{\text{air}} = 287 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Air standard : $\text{O}_2 + 3,78.\text{N}_2$

Caractéristiques du méthane CH₄ :

- Le méthane est considéré comme un gaz parfait
- Pouvoir calorifique inférieur du CH₄ : $P_{\text{CI CH}_4} = 50000 \text{ J/g}$

Caractéristiques du GNV :

- Pouvoir calorifique inférieur en kWh par normal m³ : $P_{\text{CI GNV}} = 10,1 \text{ kWh / Nm}^3$
- Pouvoir calorifique inférieur du GNV : $P_{\text{CI GNV}} = 48500 \text{ J/g}$
- Pouvoir comburivore : $\text{PCO} = 16,7$

Caractéristiques des gaz d'échappement :

- Masse molaire échappement : $M_{\text{échap}} = 28 \text{ g/mol}$
- Chaleur massique à pression constante : $C_p = 1000 \text{ J/ kg.°C}$
- Masse molaire des NO_x : $M_{\text{NO}_x} = 46 \text{ g/mol}$

Document technique 2 (DT2)

N	Ce	λ	$q_{m_{air}}$	$q_{m_{GNV}}$	[CO]	[CO ₂]	[NO _x]	[HC] Méth	[NMHC]	[HC] Tot
tr/min	daN.m	.	g/s	g/s	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm
1498	37,21	1,04	77,95		1887	11,34	2916	1299	13,25	1565
1498	36,79	1,12	82,4	4,389	762,8	10,29	2976	965	12,9	1149
1498	37,02	1,24	89,47	4,316	959,4	9,198	1899	1093	13,08	1297
1497	36,78	1,36	96,71	4,269	1094	8,136	839	1546	13,28	1793
1497	37,36	1,49	107,9	4,334	897,4	7,415	219	1951	13,15	2229
1497	36,19	1,60	126,7	4,747	902,4	6,666	57	2870	8,825	3162

N	Ce	λ	Humidité AirAmb	q_m EauAirAmb	Qm EauComb	$q_{m_{EchH}}$	$q_{m_{EchS}}$	Pe
tr/min	daN.m	.	gEau/kgAir	g/s	g/s	g/s	g/s	kW
1498	37,21	1,04	5,662	0,439	9,942	82,434	72,053	58,34
1498	36,79	1,12	5,660	0,464	9,736			57,68
1498	37,02	1,24	5,577	0,496	9,574	93,788	83,718	58,04
1497	36,78	1,36	5,534	0,532	9,470	100,981	90,979	57,63
1497	37,36	1,49	5,648	0,606	9,614	112,236	102,016	58,54
1497	36,19	1,60	5,578	0,703	10,530	131,449	120,216	56,70

N	Ce	λ	q_{mCO}	q_{mCO_2}	q_{mNO_x}	q_{mHC} Méth	q_{mNMHC}	q_{mHC} Totaux
tr/min	daN.m	.	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s
1498	37,21	1,04	0,13596	12,839	0,34514	0,06119	0,00062	0,0641
1498	36,79	1,12	0,05842	12,384		0,04786	0,00064	0,0500
1498	37,02	1,24	0,08032	12,100	0,26121	0,05858	0,00070	0,0617
1497	36,78	1,36	0,09953	11,631	0,12543	0,08921	0,00076	0,0928
1497	37,36	1,49	0,09155	11,887	0,03672	0,12513	0,00084	0,1293
1497	36,19	1,60	0,10848	12,592	0,01127	0,21558	0,00066	0,2162

N	Ce	λ	CO	CO ₂	NO _x	HC Méth	NMHC	HC Tot
tr/min	daN.m	.	g/(kW.h)	g/(kW.h)	g/(kW.h)	g/(kW.h)	g/(kW.h)	g/(kW.h)
1498	37,21	1,04	8,390	792,3	21,297	3,776	0,0383	3,957
1498	36,79	1,12	3,646	772,9		2,987	0,0397	3,123
1498	37,02	1,24	4,982	750,5	16,201	3,633	0,0433	3,830
1497	36,78	1,36	6,218	726,6	7,835	5,573	0,0476	5,795
1497	37,36	1,49	5,630	731,0	2,258	7,695	0,0516	7,953
1497	36,19	1,60	6,887	799,5	0,715	13,686	0,0419	13,724

Document réponse 1 (DR1)

Tableau 1 : caractéristiques carburants

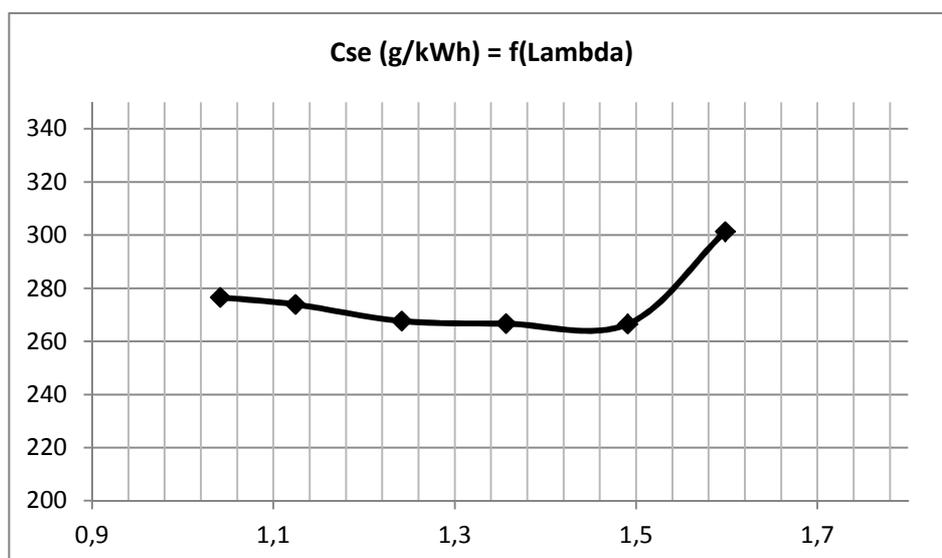
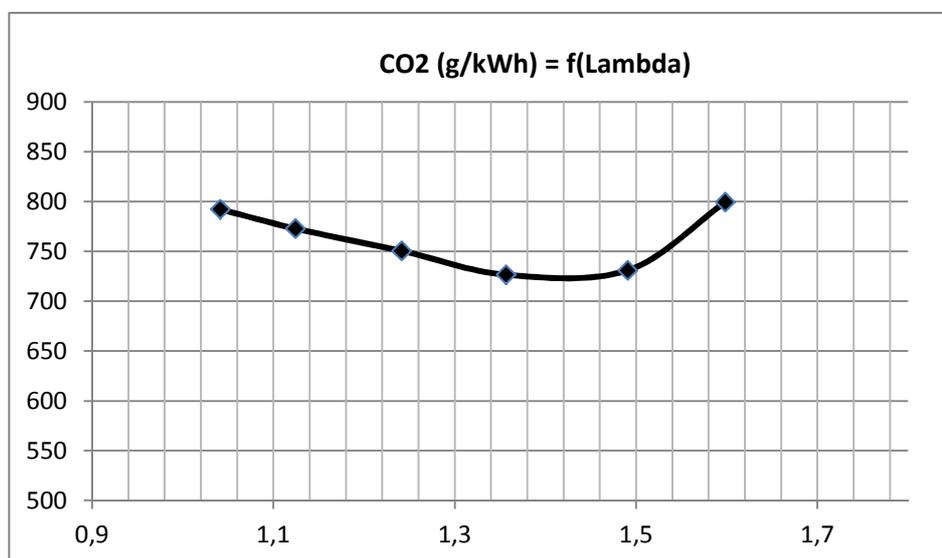
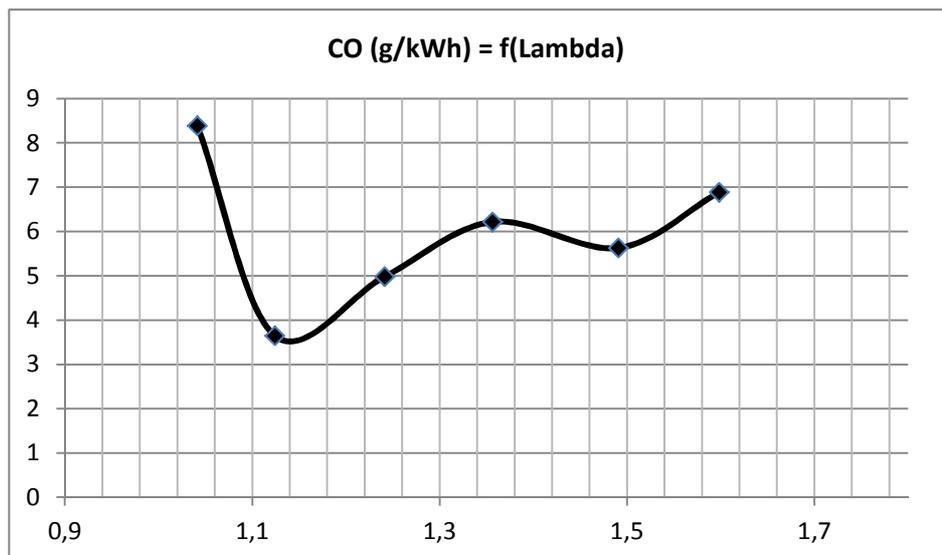
	essence	GNV	méthane
État à 25 °C et 1 bar	liquide	gaz	gaz
Masse volumique en g/dm ³	750	0,751	
Conditions de mesure	15°C et 1 bar	0°C et 1 atm	0°C et 1 atm
PCI en J/g	42900	48500	50000
PCI en kWh/NL	9	0,0101	
PCO	14,6	16,7	
g de CO ₂ par kWh	270	230	
Indice d'octane	95	110	120

Tableau 2 : performances moteur

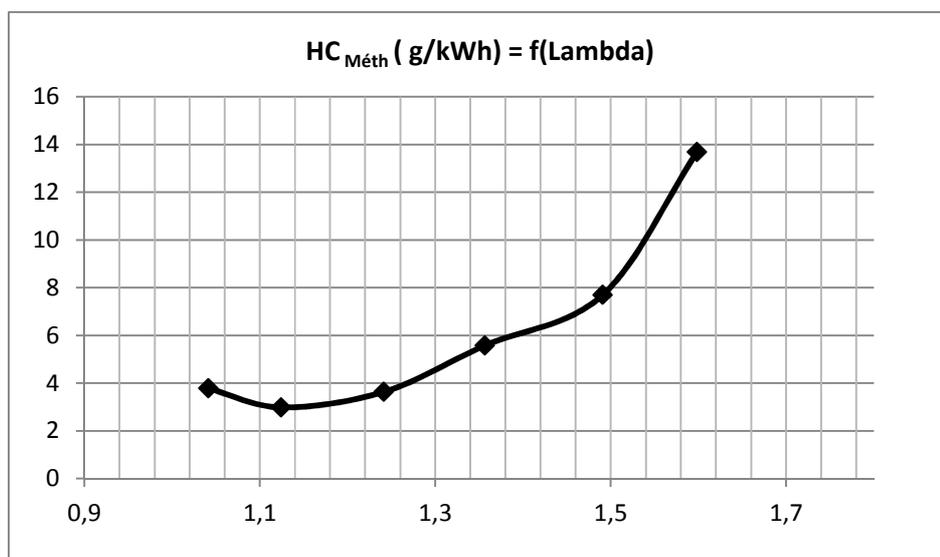
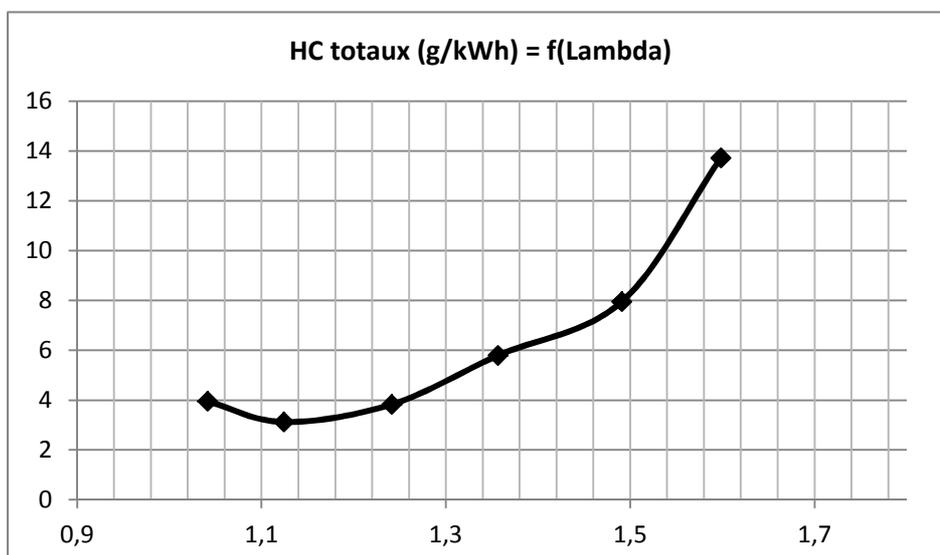
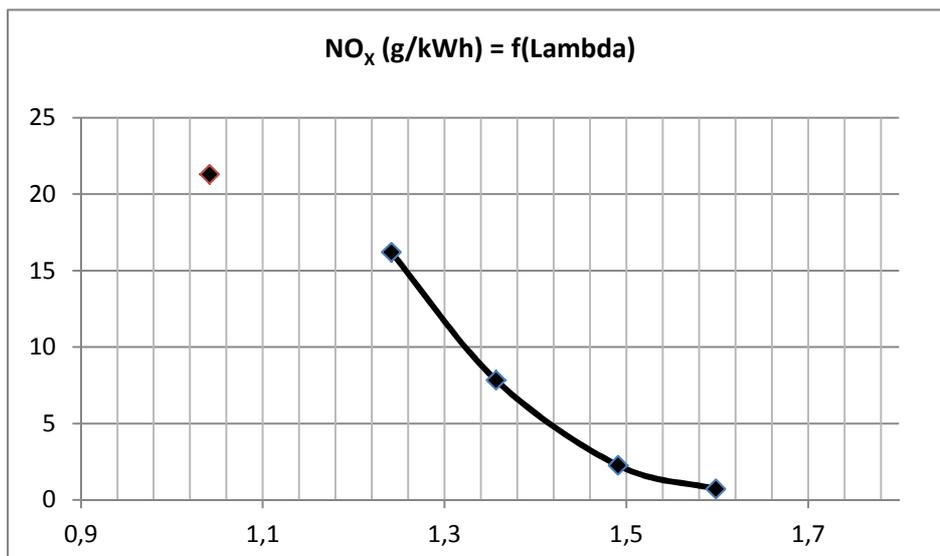
N	Ce	λ	PMI	r_{st}	η_i	η_m	η_e	Cse
tr/min	daN.m	.	bars	%	%	%	%	g/kWh
1498	37,21	1,04	6					
1498	36,79	1,12	5,9					
1498	37,02	1,24	5,96					
1497	36,78	1,36	5,91					
1497	37,36	1,49	5,97					
1497	36,19	1,60	5,93					

N	Ce	λ	$q_{m_{air}}$	$q_{m_{GNV}}$	Téchap	T air entrée moteur	Pint Pcal	Pe	P _{Sens} Echap
tr/min	daN.m	.	g/s	g/s	°C	°C	kW	%	%
1498	37,21	1,04	77,95		673	25			
1498	36,79	1,12	82,4	4,389	652	25			
1498	37,02	1,24	89,47	4,316	618	25			
1497	36,78	1,36	96,71	4,269	583	25			
1497	37,36	1,49	107,9	4,334	562	25			
1497	36,19	1,60	126,7	4,747	553	25			

Document réponse 2.1 (DR2.1)



Document réponse 2.2 (DR2.2)



Document réponse 2.3 (DR2.3)

