

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

MOTEURS À COMBUSTION INTERNE

Session 2016

ÉTUDE DES MOTEURS U51 – EXPLOITATION D'ESSAIS MOTEUR

Durée : 3 heures – Coefficient : 3

Éléments de Correction

CODE ÉPREUVE : 1606MOE5EEM		EXAMEN BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : MOTEURS À COMBUSTION INTERNE	
SESSION : 2016	CORRIGÉ	ÉPREUVE : ÉTUDE DES MOTEURS U51 – EXPLOITATION D'ESSAIS MOTEUR			
Durée : 3h	Coefficient : 3	Corrigé N°09ED15		Pages 1/15	

1^{ère} Partie : Etude du carburant

1.1 - $\rho_{CH_4} = \frac{M_{CH_4}}{V_{mol}}$ avec $PV = nRT$ et $n = 1 \text{ mole}$
 $\Rightarrow V = \frac{RT}{P}$

d'où $\rho_{CH_4} = \frac{M_{CH_4} \cdot P}{R \cdot T}$ avec ρ_{CH_4} en $g \cdot dm^{-3}$
 M en $g \cdot mol^{-1}$
 P en Pa
 R en $J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$
 T en K

AN: $\rho_{CH_4} = \frac{(12+4) \cdot 1,013 \cdot 10^5 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 273,15}$

$\Rightarrow \rho_{CH_4} = 0,714 \text{ g} \cdot dm^{-3}$

1.2 - $P_{ci} CH_4$ en kWh / NL

$$P_{ci} CH_4 = P_{ci} CH_4 \cdot \rho_{CH_4} \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{1}{10^3}$$

$\frac{kWh}{NL} \quad \frac{J}{g} \quad \frac{g}{dm^3} \quad \frac{h}{s} \quad \frac{kW}{W}$

AN: $P_{ci} CH_4 = 50000 \cdot 0,714 \cdot \frac{1}{3600 \cdot 10^3}$

$\Rightarrow P_{ci} CH_4 = 9,9 \cdot 10^{-3} \text{ kWh / NL}$

1.3 - m_{CH_4} / kWh

$$Q = m_{CH_4} \cdot P_{ci} CH_4 \cdot \frac{1}{3600 \cdot 10^3}$$

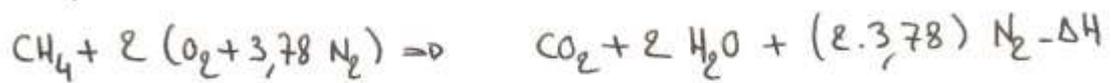
$\frac{kWh}{g} \quad \frac{J}{g} \quad \frac{h}{s} \quad \frac{kW}{W}$

$$\Rightarrow m_{CH_4} = \frac{Q \cdot 3600 \cdot 10^3}{P_{ci} CH_4}$$

AN: $m_{CH_4} = \frac{1 \cdot 3600 \cdot 10^3}{50000}$

$m_{CH_4} = 72 \text{ g de } CH_4 / kWh$

1.4 - Equation combustion



$$P_{\text{CO}} = \frac{m_{\text{air}} h}{m_{\text{CH}_4}} \quad \text{AN: } P_{\text{CO}} = \frac{2 (16 \cdot 2 + 3,78 \cdot 14 \cdot 2)}{(12 + 4)}$$

$$\Rightarrow \underline{P_{\text{CO}} = 17,23}$$

1.5 - Dosage volumique

$$d_v = \frac{V_{\text{méthane}}}{V_{\text{air}}} = \frac{n_{\text{méthane}}}{n_{\text{air}}}$$

n : Nombre de moles

$$\text{AN: } d_v = \frac{1}{2 + (2 \cdot 3,78)} \Rightarrow \underline{d_v = \frac{1}{9,56}}$$

le méthane occupe 10% de la place dans l'air

1.6 - Rapport masse CO₂ / masse carburant

soit k le rapport $m_{\text{CO}_2} / m_{\text{carb}}$

$$k = \frac{m_{\text{CO}_2}}{m_{\text{CH}_4}} \quad \text{AN: } k = \frac{12 + (16 \cdot 2)}{(12 + 4)} \Rightarrow \underline{k = 2,75}$$

$$m_{\text{CO}_2} / \text{kWh} = m_{\text{CH}_4} / \text{kWh} \cdot k$$

$$\text{AN: } m_{\text{CO}_2} / \text{kWh} = 72 \cdot 2,75 \Rightarrow \underline{m_{\text{CO}_2} / \text{kWh} = 198 \text{ g de CO}_2 / \text{kWh}}$$

1.7 - Le GNV n'étant pas composé de 100% de méthane ses caractéristiques sont différentes.

1.8 - Avantages et inconvénient du GNV par rapport à l'essence.

Deux avantages : \cdot CO_2 / kWh ; P_{ci} massique ; Indice d'octane

Un inconvénient : P_{ci} volumique

2^{ème} partie: Performances moteur

2.1 -
$$q_{m\text{GNV}} = q_{m\text{air}} \cdot \frac{1}{\text{P.C.O.} \cdot \lambda}$$

$\frac{\text{g}}{\text{s}} \quad \quad \quad \frac{\text{g}}{\text{s}}$

AN: $q_{m\text{GNV}} = 77,95 \cdot \frac{1}{16,7 \cdot 1,04}$

$\Rightarrow \underline{q_{m\text{GNV}} = 4,49 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}}$

2.2 - le remplissage standard est le rapport entre la masse d'air réelle admise et la masse d'air qui occupe le volume de la cylindrée dans les conditions standards.

$$R_{st} = \frac{m_{\text{air réelle}}}{V \cdot \rho_{\text{air st}}} = \frac{q_{m\text{air}} \cdot 60 \cdot x}{V \cdot \rho_{\text{air st}} \cdot N}$$

avec $\rho_{\text{air st}} = \frac{P_{st}}{\rho_{\text{air}} \cdot T_{st}}$

$$\Rightarrow \underline{R_{st} = \frac{q_{m\text{air}} \cdot 60 \cdot x \cdot \rho_{\text{air}} \cdot T_{st}}{V \cdot N \cdot P_{st}}}$$

$q_{m\text{air}}$ en $\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$

60 : $\text{s} \cdot \text{min}^{-1}$

x : $\text{tr} \cdot \text{cycle}^{-1}$

V en $\text{dm}^3 \cdot \text{cycle}^{-1}$

N en $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$

P_{st} en Pa

T_{st} en K

ρ_{air} en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

AN: $R_{st} = \frac{77,95 \cdot 60 \cdot 2 \cdot 287 \cdot (273,15 + 25)}{9,36 \cdot 1498 \cdot 1 \cdot 10^5}$

$\Rightarrow \underline{R_{st} = 0,57}$

2.3 - Action sur le débit d'air pour faire varier le lambda mais également action sur le débit de GNV pour rester à isotherme.

2.4 - $P_{me} = \frac{W_e}{V} = \frac{C_e \cdot 4\pi}{V}$

$$\Rightarrow \underline{C_e = \frac{P_{me} \cdot V}{4\pi}}$$

$\text{N} \cdot \text{m} \quad \quad \quad \text{rad} \cdot \text{cycle}^{-1}$

AN: $C_e = \frac{5 \cdot 10^5 \cdot 9,36 \cdot 10^{-3}}{4\pi} = 372,4 \text{ N} \cdot \text{m}$

$\Rightarrow \underline{C_e = 37,24 \text{ daN} \cdot \text{m}}$

2.5 - $\eta_e = \frac{W_e}{Q} = \frac{P_e}{P_{int}} = \frac{P_e}{q_{m,GNV} \cdot P_{i,GNV}}$ avec $P_e = \frac{C_e \cdot 2\pi N}{60} \frac{N \cdot m}{s \cdot m^3}$

$$\Rightarrow \eta_e = \frac{C_e \cdot 2\pi N}{60 \cdot q_{m,GNV} \cdot P_{i,GNV}}$$

AN: $\eta_e = \frac{372,4 \cdot 2\pi \cdot 1498}{60 \cdot 4,49 \cdot 48500} = 0,268$

$\Rightarrow \eta_e = 26,8\%$

$$C_{se} = \frac{3600 \cdot 10^3}{\eta_e \cdot P_{i,GNV}}$$

AN: $C_{se} = \frac{3600 \cdot 10^3}{0,268 \cdot 48500}$

$\Rightarrow C_{se} = 277 \text{ g} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$

2.6 - $\eta_m = \frac{W_e}{W_i} = \frac{P_e}{P_i} = \frac{P_m}{P_{mi}}$

AN: $\eta_m = \frac{5}{6} \Rightarrow \eta_m = 83,3\%$

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m \Rightarrow \eta_i = \frac{\eta_e}{\eta_m}$$

AN: $\eta_i = \frac{0,268}{0,833} \Rightarrow \eta_i = 32,2\%$

2.7 - $P_{entree} = \sum P_{sortie}$

$\Rightarrow P_{int} = P_e + \underbrace{P_{schich}}_{P_{inertes}} + \underbrace{P_{thermech}}_{P_{sensible}} + P_{eau} + P_{huile} + P_{acc} + P_{rayonnement}$

2.8 - $P_{int} = q_{m,GNV} \cdot P_{i,GNV}$

AN: $P_{int} = 4,49 \cdot 48500 = 217765 \text{ W}$

$\Rightarrow P_{int} = 217,7 \text{ kW}$

$$2.9. \quad \mathcal{P}_e = c_e \cdot \frac{2\pi N}{60} \cdot \overbrace{\text{rad} \cdot \text{t}^{-1}}^{\text{rad} \cdot \text{t}^{-1}}$$

$\begin{array}{ccc} | & | & | \\ \text{W} & \text{N} \cdot \text{m} & \text{s} \cdot \text{min}^{-1} \end{array}$

$$\text{AN: } \mathcal{P}_e = \frac{372,4 \cdot 2\pi \cdot 1498}{60} = 58418 \text{ W}$$

$$\Rightarrow \underline{\mathcal{P}_e = 58,4 \text{ kW}}$$

$$\% \text{ de } \mathcal{P}_e = \frac{\mathcal{P}_e}{\mathcal{P}_{\text{int}}} \cdot 100$$

$$\text{AN: } \% \text{ de } \mathcal{P}_e = \frac{58,4}{217,7} = 26,8 \%$$

$$\Rightarrow \underline{\% \text{ de } \mathcal{P}_e = 26,8 \% = \eta_e}$$

$$2.10. \quad \mathcal{P}_{\text{thermique \acute{e}ch}} = q_{m \acute{e}ch} \cdot c_{p \acute{e}ch} \cdot \Delta T$$

$$\text{avec } q_{m \acute{e}ch} = q_{m \text{ m\^e}lange} = q_{m \text{ air}} + q_{m \text{ GNV}}$$

$$\text{et } \Delta T = T_{\acute{e}ch} - T_{\text{adm}}$$

$$\Rightarrow \boxed{\mathcal{P}_{\text{therm \acute{e}ch}} = (q_{m \text{ air}} + q_{m \text{ c}}) \cdot c_{p \acute{e}ch} \cdot (T_{\acute{e}ch} - T_{\text{adm}})}$$

$\begin{array}{ccccccc} | & | & | & | & | & | & | \\ \text{W} & \text{g} \cdot \text{s}^{-1} & \text{g} \cdot \text{s}^{-1} & \text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} & \text{K} & \text{C} & \text{ou K} \end{array}$

$$\text{AN: } \mathcal{P}_{\text{therm \acute{e}ch}} = (77,95 + 4,49) \cdot 1 \cdot (673 - 25) = 53421 \text{ W}$$

$$\Rightarrow \underline{\mathcal{P}_{\text{therm \acute{e}ch}} = 53,4 \text{ kW}}$$

$$\% \text{ de } \mathcal{P}_{\text{therm \acute{e}ch}} = \frac{\mathcal{P}_{\text{therm \acute{e}ch}}}{\mathcal{P}_{\text{int}}} \cdot 100$$

$$\text{AN: } \% \text{ de } \mathcal{P}_{\text{therm \acute{e}ch}} = \frac{53,4}{217,7} = 24,5 \%$$

$$\Rightarrow \underline{\% \text{ de } \mathcal{P}_{\text{therm \acute{e}ch}} = 24,5 \%}$$

2.11. Voir tableau DRA.

3^{ème} Partie: Calculs et analyse des polluants

3.1 - la totalité du débit entrant dans le moteur ressort à l'échappement.

$$\Rightarrow q_{m \text{ éch}} = q_{m \text{ GNV}} + q_{m \text{ air}}$$

3.2 -

$$\boxed{q_{m \text{ éch}_H} = q_{m \text{ GNV}} + q_{m \text{ air}}}$$

$\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \quad \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \quad \text{g} \cdot \text{s}^{-1}$

AN: $q_{m \text{ éch}_H} = 88,4 + 4,389$

$\Rightarrow \underline{q_{m \text{ éch}_H} = 86,79 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}}$

3.3 -

$$\boxed{q_{m \text{ éch}_S} = q_{m \text{ éch}_H} - (q_{m \text{ H}_2\text{O air}} + q_{m \text{ H}_2\text{O comb}})}$$

$\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \quad \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \quad \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \quad \text{g} \cdot \text{s}^{-1}$

AN: $q_{m \text{ éch}_S} = 86,79 - (0,464 + 9,736) = 76,59 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$

$\Rightarrow \underline{q_{m \text{ éch}_S} = 76,59 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}}$

$\text{H}_2\text{O air}$: si $\lambda \uparrow$ $q_{m \text{ air}} \uparrow$, il reste davantage d'air à l'échappement non utilisé pour brûler le carburant, à iso humidité, le $q_{m \text{ H}_2\text{O}} \uparrow$.

$\text{H}_2\text{O comb}$: suit l'évolution de $q_{m \text{ GNV}}$ (quantité d'eau produite lors de la combustion du carburant). Lors de la variation de λ on ajuste le $q_{m \text{ GNV}}$ pour rester à iso Pme.
Si $q_{m \text{ GNV}} \uparrow$; $q_{m \text{ H}_2\text{O}} \uparrow$ et inversement

3.4 - $\frac{q_{m\text{éch}}}{\tau_{\text{éch}}} \cdot [\text{NO}_x]$, représente le débit volumique de NO_x .

car $\frac{q_{m\text{éch}}}{\tau_{\text{éch}}} = q_{v\text{éch}}$ et $[\text{NO}_x]$ représente la proportion volumique de NO_x .

$$\rho_{\text{gaz}} = \frac{m_{\text{gaz}}}{V_{\text{mél}}}$$

m_{gaz} : Masse molaire en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$V_{\text{mél}}$: Volume molaire en $\text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$

ρ_{gaz} : Masse volumique du gaz en $\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$

• $\rho_{\text{NO}_x} = \frac{m_{\text{NO}_x}}{V_{\text{mél}}}$ et $\tau_{\text{éch}} = \frac{M_{\text{éch}}}{V_{\text{mél}}}$

à iso pression et température le volume molaire est identique

$$\Rightarrow \frac{\rho_{\text{NO}_x}}{\tau_{\text{éch}}} = \frac{m_{\text{NO}_x}}{M_{\text{éch}}}$$

d'où

$$q_{m\text{NO}_x} = q_{m\text{éch}} \cdot S \cdot [\text{NO}_x] \cdot \frac{m_{\text{NO}_x}}{M_{\text{éch}}}$$

$\begin{array}{ccc} \text{g} \cdot \text{s}^{-1} & \text{g} \cdot \text{s}^{-1} & \text{g} \cdot \text{mol}^{-1} \\ & & \text{g} \cdot \text{mol}^{-1} \end{array}$

AN: $q_{m\text{NO}_x} = 76,59 \cdot \frac{2976}{10^6} \cdot \frac{46}{28} \Rightarrow \underline{q_{m\text{NO}_x} = 0,374 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}}$

3.5 -

$$\text{NO}_x = q_{m\text{NO}_x} \cdot \frac{1}{P_e} \cdot 3600$$

$\begin{array}{ccc} \text{g} \cdot \text{kWh}^{-1} & \text{g} \cdot \text{s}^{-1} & \text{kW} \cdot \text{s} \cdot \text{h}^{-1} \end{array}$

avec $P_e = 57,7 \text{ kW}$
à $\lambda = 1,12$

AN: $\text{NO}_x = 0,374 \cdot \frac{3600}{57,7} \Rightarrow \underline{\text{NO}_x = 23,3 \text{ g/kWh}}$

3.6 - les NO_x sont fonction de:

- T° maximum de combustion
- $[\text{O}_2]$ disponible dans la chambre

- Si $\lambda \uparrow$ $[\text{O}_2] \uparrow \Rightarrow \text{NO}_x \uparrow$

• Si $\lambda \uparrow$, q_{mc} varie peu

$$\Rightarrow Q_l = \text{cte}$$

$m_{\text{mél}} \uparrow$ car $m_{\text{air}} \uparrow$

$$\text{or } Q_l = m_{\text{mél}} \cdot c_{v\text{mél}} \cdot \Delta T$$

$$\Rightarrow \Delta T = \frac{Q_l}{m_{\text{mél}} \cdot c_{v\text{mél}}} \rightarrow \Delta T \searrow$$

\Rightarrow la Température maximum de combustion \searrow .

Conclusion: Pour des λ proches de 1, $[\text{O}_2]$ faible
 T° combustion maxi \uparrow

Pour de λ élevés, $[\text{O}_2]$ importante
 T° combustion maxi faible.

\Rightarrow les NO_x seront maximum entre les 2 soit pour une valeur de $\lambda = 1,12$.

3.7 -

Si $\lambda \uparrow$ HC Totaux \uparrow

Si $\lambda \uparrow$ HC Méthaniques \uparrow

- les 2 courbes évoluent de la même manière et les HC méthaniques représentent la quasi-totalité des HC totaux.

- L'augmentation des HC a pour origine la dispersion cyclique liée aux ratés de combustion en mélange pauvre. le gaz se retrouve directement à l'échappement.

- 3.8- . les évolutions du CO_2 en g/kWh et de la Cse en g/kWh sont identiques.
- . En calculant le rapport sur 2 points, on trouve la même valeur. Rapport = 2,75
 - . Les émissions de CO_2 sont proportionnelles à la consommation. Un kilogramme de GNV brûlé donnera 2,75 kg de CO_2 .

4^{ème} Partie: Choix du λ

4.1- Voir DREA, DR 2.2; DR 2.3

4.2- . Instabilités, $\lambda < 1,52$

. HC, $\lambda < 1,5$

. NO_x , $\lambda > 1,22$

. Pas de contraintes sur le CO ; TAV; T° max combustion

λ peut être choisi entre 1,22 et 1,5. pour tenir compte du cdc au regard de la Cse, il faut choisir un $\lambda = 1,45$ (Cse minimum). Pour améliorer la robustesse du point de réglage une valeur autour de 1,4 peut être retenue.

Document réponse 1 (DR1)

Tableau 1 : caractéristiques carburants

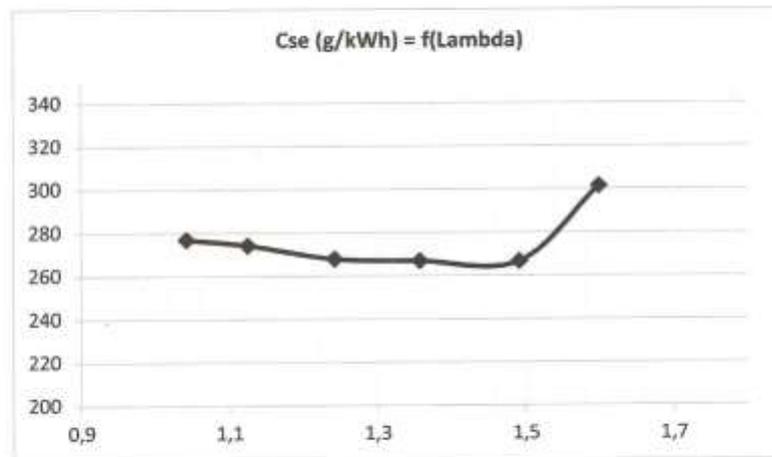
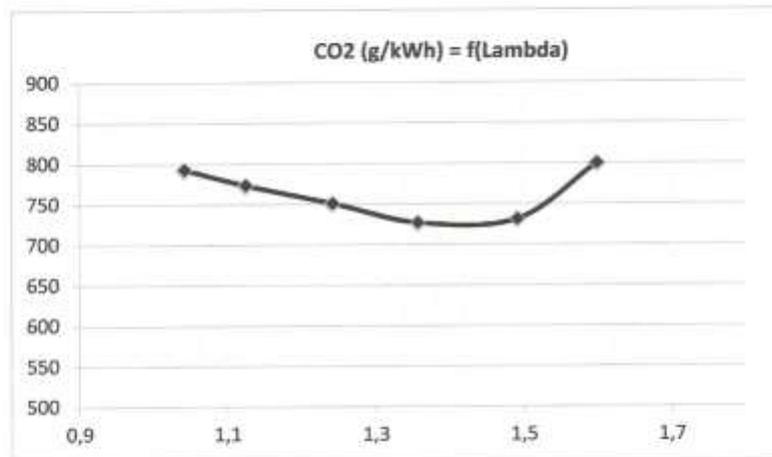
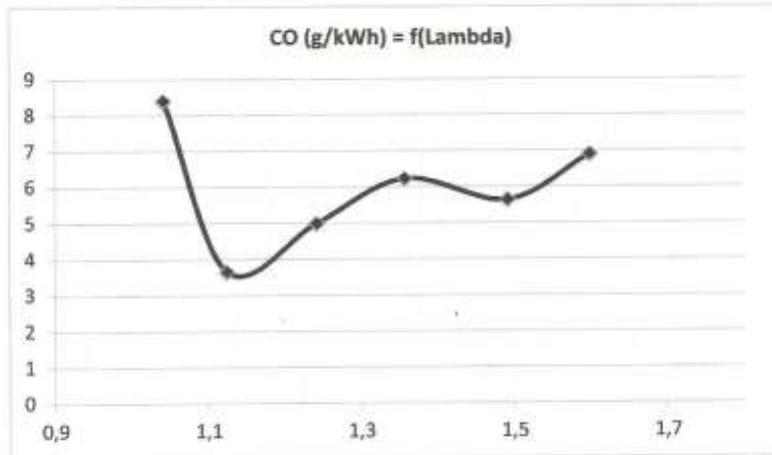
	essence	GNV	méthane
État à 25 °C et 1 bar	liquide	gaz	gaz
Masse volumique en g/dm ³	750	0,751	0,714
Conditions de mesure	15°C et 1 bar	0°C et 1 atm	0°C et 1 atm
PCI en J/g	42900	48500	50000
PCI en kWh/NL	9	0,0101	9,9.10 ⁻³
PCO	14,6	16,7	17,23
g de CO ₂ par kWh	270	230	198
Indice d'octane	95	110	120

Tableau 2 : performances moteur

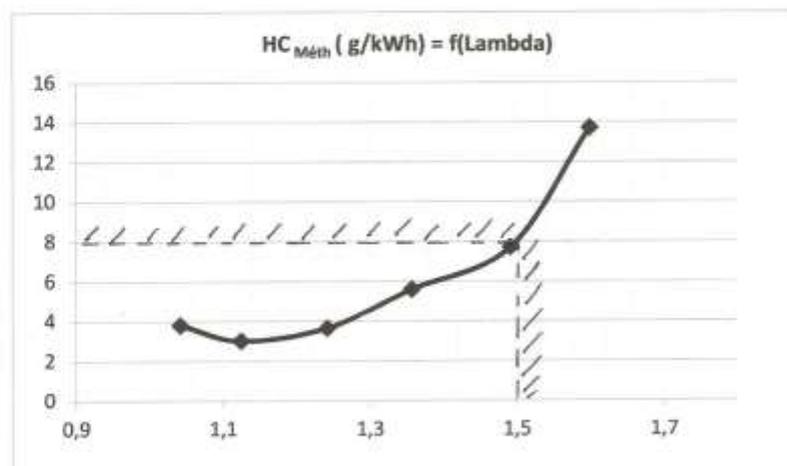
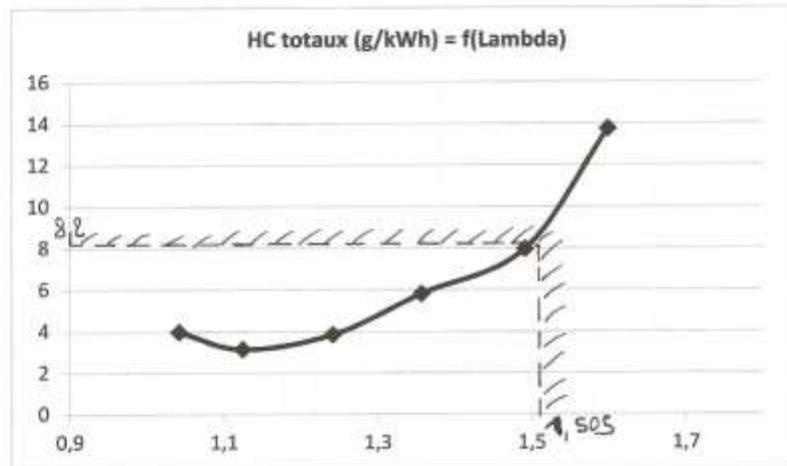
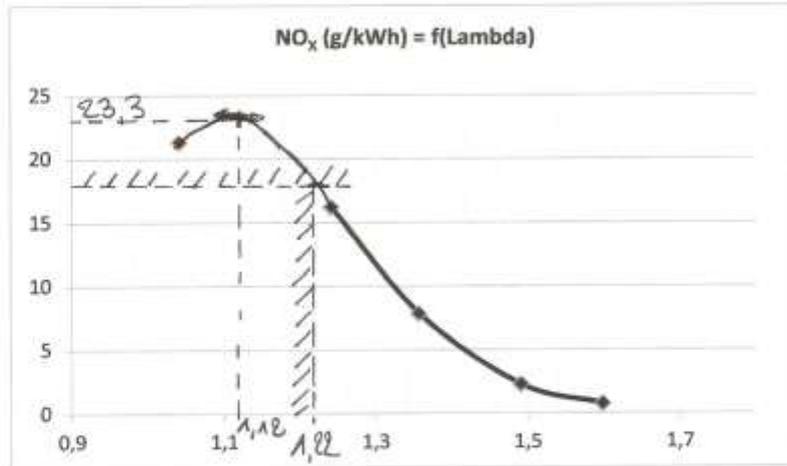
N	Ce	λ	PMI	γ _{st}	η _i	η _m	η _e	Cse
tr/min	daN.m	.	bars	%	%	%	%	g/kWh
1498	37,21	1,04	6	0,57	32,2	83,3	26,8	277
1498	36,79	1,12	5,9	X				
1498	37,02	1,24	5,96					
1497	36,78	1,36	5,91					
1497	37,36	1,49	5,97					
1497	36,19	1,60	5,93					

N	Ce	λ	q _m air	q _m GNV	Téchap	T _{air} entrée moteur	P _{int} Pcal	Pe	P _{Sens} Echap
tr/min	daN.m	.	g/s	g/s	°C	°C	kW	%	%
1498	37,21	1,04	77,95	4,49	673	25	217,7	26,8	24,5
1498	36,79	1,12	82,4	4,389	652	25	X		
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)

