

TP THERMIQUE

ETUDE D'UN MOTEUR EXPERIMENTAL IFP

1) But du TP.

Le but de ce T.P. est de mettre en évidence l'influence sur le comportement d'un moteur thermique de 3 paramètres de réglages fondamentaux :

- la richesse,
- l'avance à l'allumage
- le taux de compression.

Les essais se font bien sur à un paramètre variable, les 2 autres fixés. On mettra en évidence pour chaque paramètre l'influence qu'il a sur :

- la consommation spécifique,
- la puissance
- le rendement global

Ce sont des essais similaires qui sont effectués par les constructeurs sur les banc d'essais lors de la phase de conception finale d'un moteur, afin de déterminer les réglages électroniques de commande (courbe d'avance, courbe d'injection...)... bien sur ils prennent en compte beaucoup plus de paramètres, comme la tenue en température.

2) Protocole expérimental :

Le Tp s'effectue sur un moteur monocylindre expérimental temps de l'Institut Français du Pétrole IFP sur lequel nous avons les possibilités de réglage suivantes

- réglage de la richesse (carburateur)
- réglage de l'avance à l'allumage (rotation de la bobine d'allumage)
- réglage du taux de compression (culasse expérimentale à taux variable par translation)

Le couple développé est absorbé par un frein hydraulique de Froude. Avec la vitesse de rotation, on obtient directement la puissance utile. La puissance fournie est donnée par les débits d'air et d'essence mesurés respectivement par un diaphragme situé sur la conduite d'arrivée d'air (différence de pression entre l'entrée et la sortie en mm de colonne d'eau) et par une mesure du temps d'écoulement (volume donné de 100 mL situé sur la conduite d'arrivée d'essence).

3) Déroulement du TP

a) Rappels généraux

Ce Tp nécessite la connaissance de plusieurs formules de thermique et de mécanique des fluides afin de faire le liens entre les grandeurs mesurée et les grandeurs exploitable

Le tableau page suivante récapitule ces différentes formules

Grandeur calculée	Formule	Paramètres (unité)
Puissance utile en sortie du moteur (kW)	$P_u = FN/1360$	<i>F</i> : Force lue sur le cadran du frein Froude (en kgf) <i>N</i> : vitesse de rotation du moteur (en tr/min)
Débit de carburant (mL/s)	$Q_{\text{ess}} = 100/T_{\text{éc}}$	<i>T_{éc}</i> : temps (en s)
Puissance consommée par le moteur (kW)	$P_{\text{cons}} = Q_{\text{vess}} \times \rho \times PCI \times 4,18$ Soit $P_{\text{cons}} = 31,4 \times Q'_{\text{vess}}$	$\rho = 716 \text{ kg/m}^3$ $PCI = 10500 \text{ kcal/kg}$ <i>Q'_{vess}</i> : en mL/s <i>Q_{vess}</i> : en m ³ /s
Débit d'air (m³/s)	$Q = 100 \cdot (10)^{1/2} JCEs(2Dp/\rho_0)^{1/2}$ Avec $1 \text{ mmCE} = 9.81 \cdot 10^{-5} \text{ bar}$ $Q = 0,0012(\text{mmCE})^{1/2}$	<i>q</i> : en m ³ /s $\rho_0 = 1.2 \text{ kg/m}^3 \text{ à } 20^\circ\text{C}$ <i>s</i> : en m ² $s = 4.91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ <i>J</i> = <i>J₁.J₂.J₃</i> facteur global de correction <i>J</i> = 1 environ <i>CE</i> = <i>a</i> donné par <i>m</i> = rapport des carré des diamètre = 0.1 d'ou <i>a</i> = 0.6025 (abaque) <i>E</i> = 1
Rendement global	$\eta_{\text{gl}} = \frac{P_{\text{fourmit}}}{P_{\text{cons}}}$	
Richesse	$r = \frac{14,89 \cdot Q_{\text{mess}}}{Q_{\text{mair}}} = 8,88 \cdot 10^{-3} \frac{Q_{\text{vess}}}{Q_{\text{vair}}}$	<i>Q_{vess}</i> : en mL/s <i>Q_{vair}</i> : en m ³ /s
Consommation spécifique	$C_s = Q_{\text{mess}}/P_{\text{utile}} = 3,5 \cdot 10^6 \times Q_{\text{vess}}/F \cdot N$	<i>C_s</i> : en g/kWh <i>Q_{vess}</i> : en mL/s <i>F</i> : Force lue sur le cadran du frein Froude (en kgf) <i>N</i> : vitesse de rotation du moteur (en tr/min)

1) Déroulement du TP :

a) Séries de mesure

Nous avons effectué 3 séries de mesures en faisant varier à chaque fois un des paramètres et en fixant les 2 autres.

- **Série A. Influence de la richesse sur Cs, la puissance utile et le rendement global.** L'avance à l'allumage et le taux de compression seront préalablement fixés.
- **Série B. Influence de l'avance à l'allumage sur Cs, la puissance utile et le rendement global.** La richesse étant fixée à celle du meilleur rendement de la série A.

- **Série C. Influence du taux de compression sur Cs, la puissance utile et le rendement global.** La richesse et l'avance étant fixées à celles du meilleur rendement d'après les relevés de la série A et B

On obtiendra donc un point de fonctionnement optimal (meilleur rendement global) pour un réglage sur ces 3 paramètres. On peut s'interroger sur l'ordre des Séries : il semble que la richesse a plus d'influence que l'avance qui a plus d'influence que le taux de compression. Ces trois paramètres varient bien sûr dans des plages raisonnables permettant au moteur de démarrer (limite L_s et L_i d'auto-inflammation, avance pas trop exagérée, et compression permettant l'explosion du mélange)

- b) Mesures et exploitation des résultats.

Série A. Influence de la richesse sur Cs, la puissance utile et le rendement global

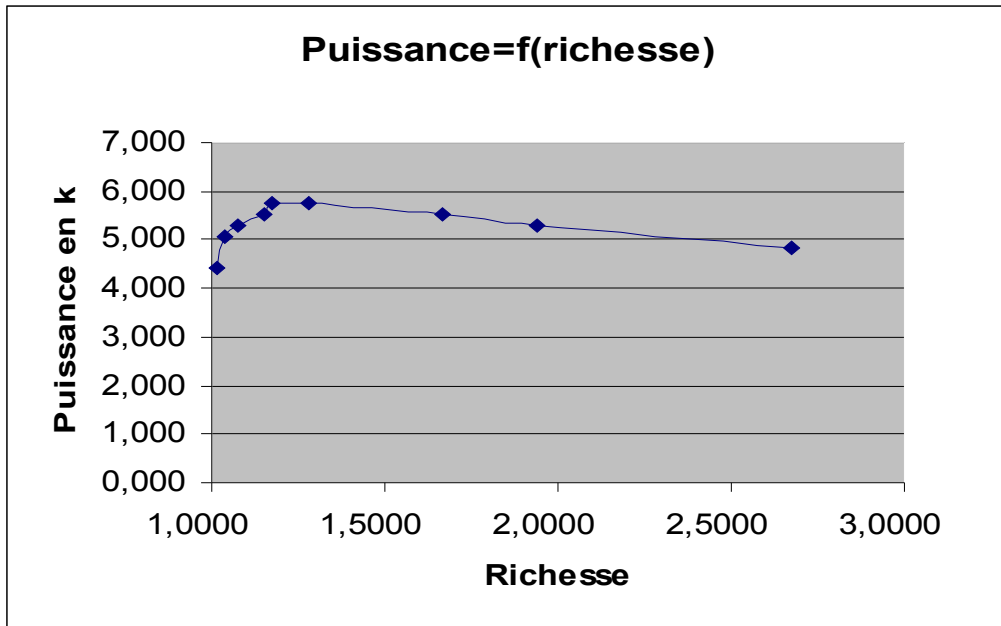
On fixe : $N=1500\text{tr/min} \rightarrow h=16\text{mmCE environ}$

Avance à l'allumage = 12°

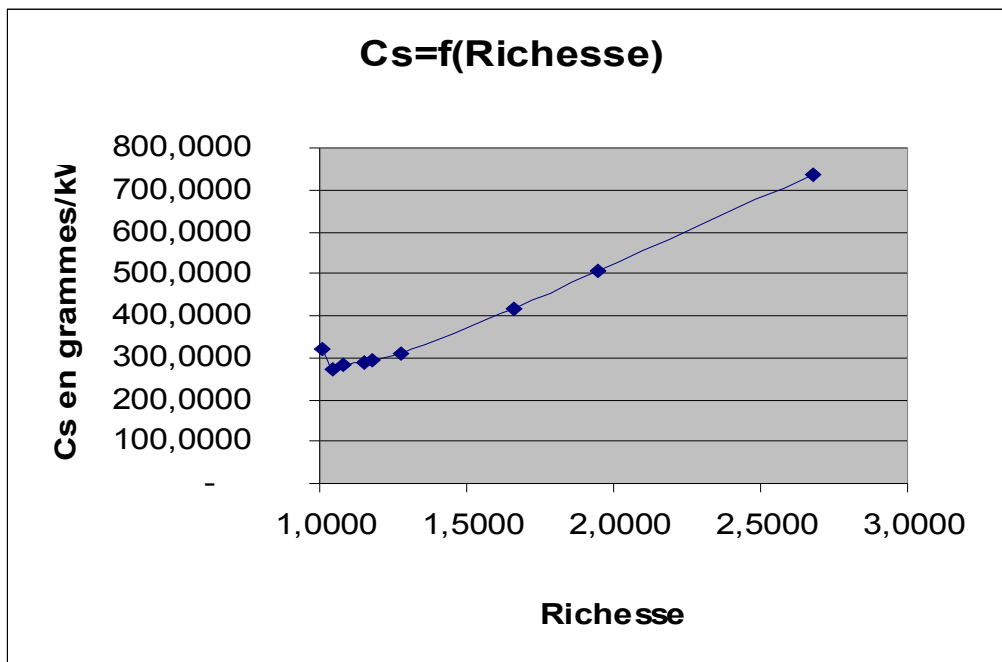
Taux de compression = 9,1

Richesse	P (kW)	Cs (gramme/kWh)	Rendement (%)
1,0134	4,412	317,5304	25,9
1,0409	5,074	274,6209	29,9
1,0778	5,294	281,4335	29,2
1,1510	5,515	288,5215	28,5
1,1746	5,735	291,8362	28,1
1,2771	5,735	307,8272	26,7
1,6648	5,515	417,3257	19,7
1,9423	5,294	507,1667	16,2
2,6746	4,853	737,6970	11,1

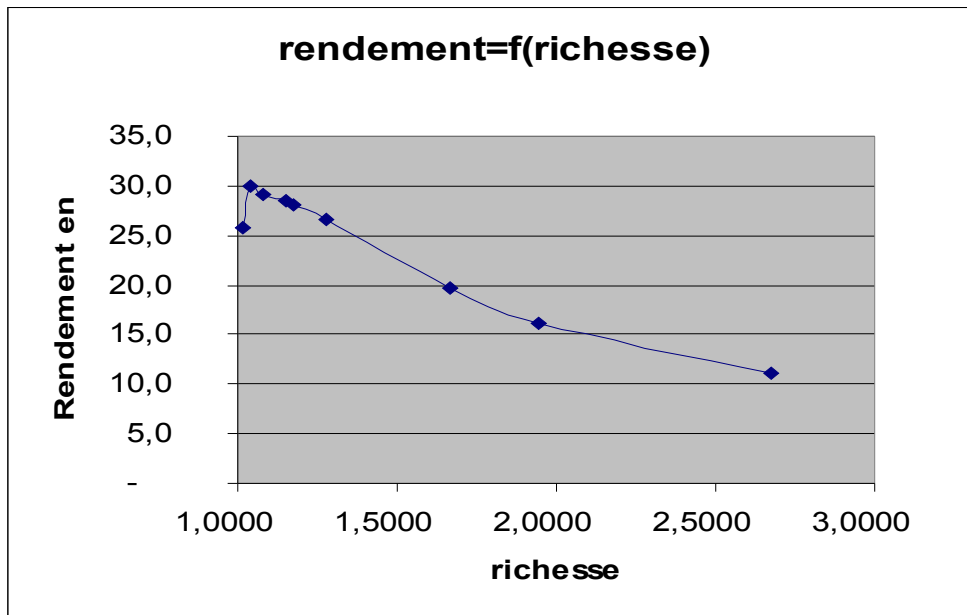
Les tableaux avec les mesures complètes permettant d'obtenir ces résultats sont situés en annexe. Les courbes sont situées page suivante.



Commentaires : En dessous d'une certaine limite, le mélange est trop pauvre en oxygène et la combustion ne peut pas se faire correctement, au delà d'un certain taux, le mélange est trop riche et la combustion n'est plus possible. Ces notions se retrouveront dans l'étude de Cs et sont liées aux notions de limites supérieures et inférieures d'auto-inflammation.



La consommation spécifique dépend du rendement et de la puissance, on obtient le point de Cs minimum pour $r=1.05$ environ à la puissance et au rendement maximum. Au delà elle augmente rapidement : les imbrûlés sont nombreux et sortent par l'échappement sans être utilisés. En dessous le mélange n'est pas assez riche pour permettre une bonne combustion.



Le rendement maximum correspond au point où la combustion se fait le mieux. C'est à dire là où on récupère le plus de chaleur de l'essence. C'est théoriquement le mélange stoechiométrique ($r=1$) qui permet d'obtenir ce point, mais le mélange air-essence n'étant pas parfaitement réalisé il faut un surplus d'essence pour obtenir un meilleur rendement

Série B. Influence de l'avance à l'allumage sur C_s , la puissance utile et le rendement global

Richesse : 1.20

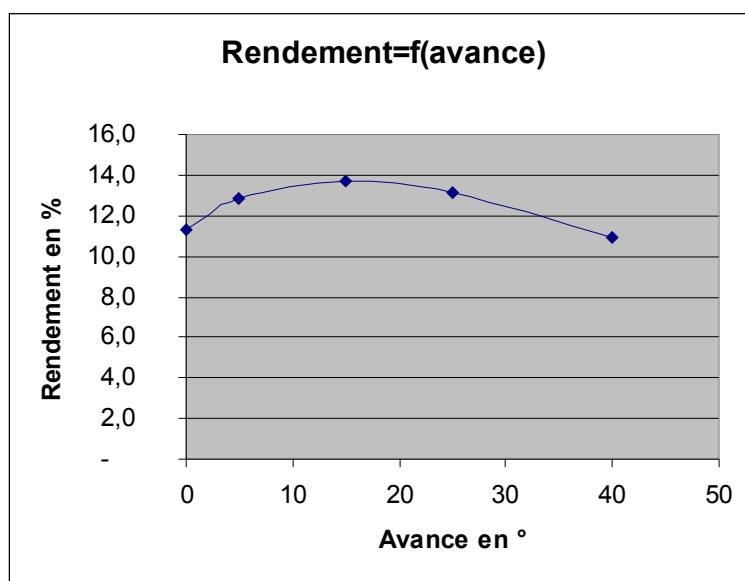
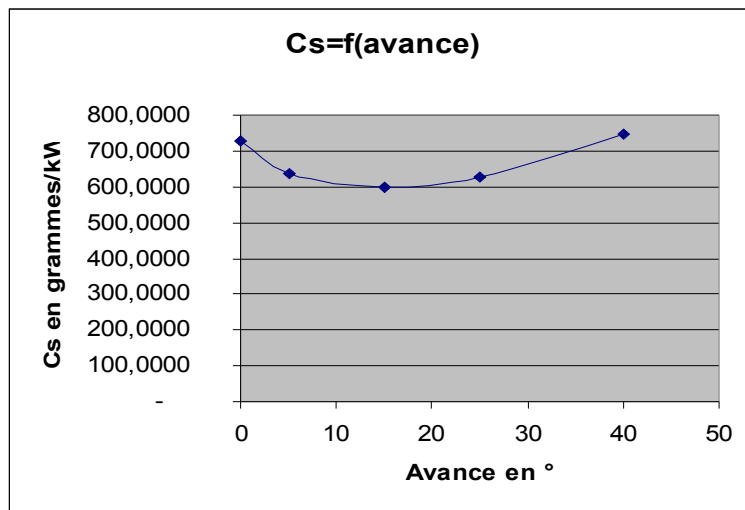
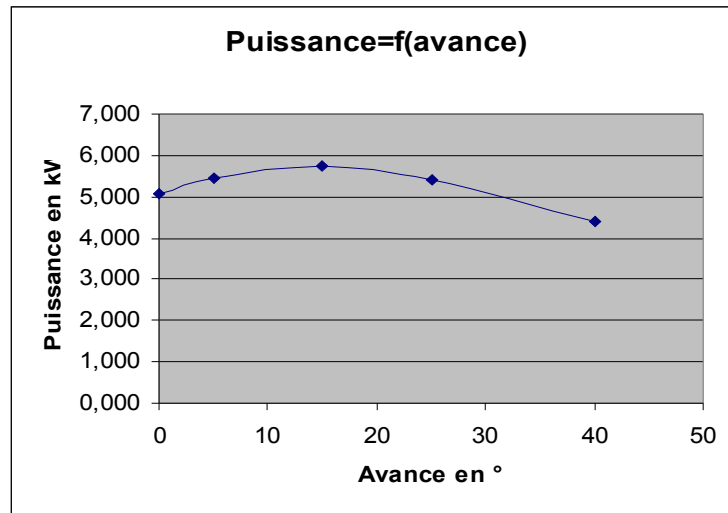
Taux de compression : 9.1

Avance (°)	P(kW)	C_s (gramme/kWh)	Rendement
0	5,074	725,7839	11,3
5	5,460	638,0082	12,9
15	5,735	599,2369	13,7
25	5,404	627,5575	13,1
40	4,412	749,0462	11,0

Commentaires : Puissance en fonction de l'avance.

En étudiant la combustion interne d'un moteur à essence, on réalise qu'elle ne se produit pas instantanément : c'est une combustion déflagrante (détonnante pour le diesel). C'est à dire qu'elle se produit par combustion successive de couches d'un mélange : le front de flamme avance lentement (quelques m/s), il faut donc prévoir une avance à l'allumage pour que le front de flamme touche le piston au point mort haut ni avant ni après. Une avance trop grande ne permettra pas de démarrer le moteur, (ou il tournera à l'envers ! !), une avance trop petite ne permet pas de récupérer toute la pression sur le piston (front de flamme arrivera au piston bien trop tard)... dans les cas extrême le moteur ne démarrera pas.

Pour des considérations dynamique et thermodynamique, cette avance dépend de la vitesse de rotation, une cartographie est donc nécessaire afin de récupérer le plus de puissance sur les moteurs thermiques.



Commentaires : Cs et rendement.

Pour les raisons évoquées plus haut (récupération ou non de l'énergie sur la tête du piston) la Cs et le rendement passe respectivement par un minimum et un maximum pour l'avance de puissance maximale.

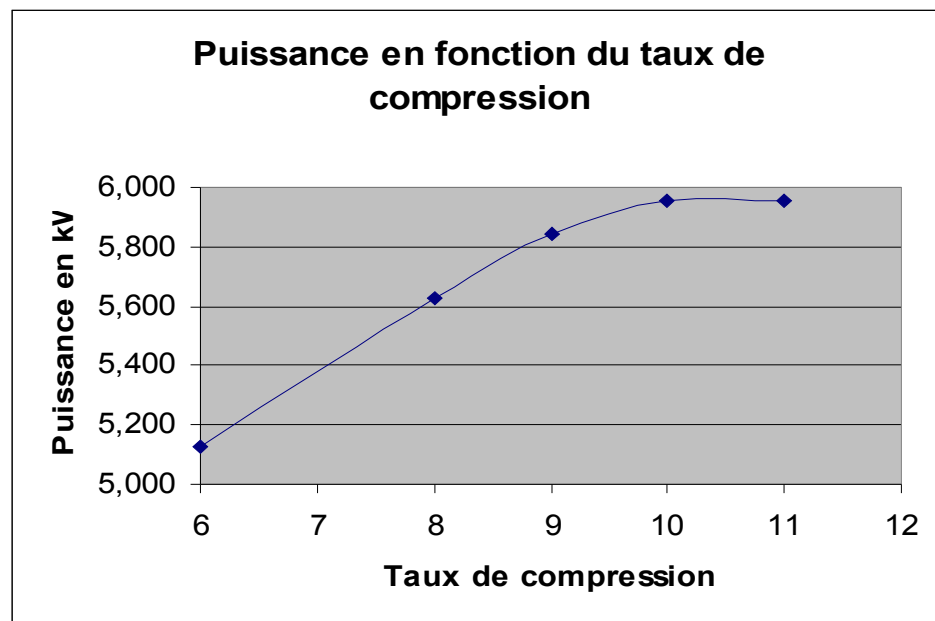
Série C. Influence du taux de compression sur Cs, la puissance utile et le rendement global

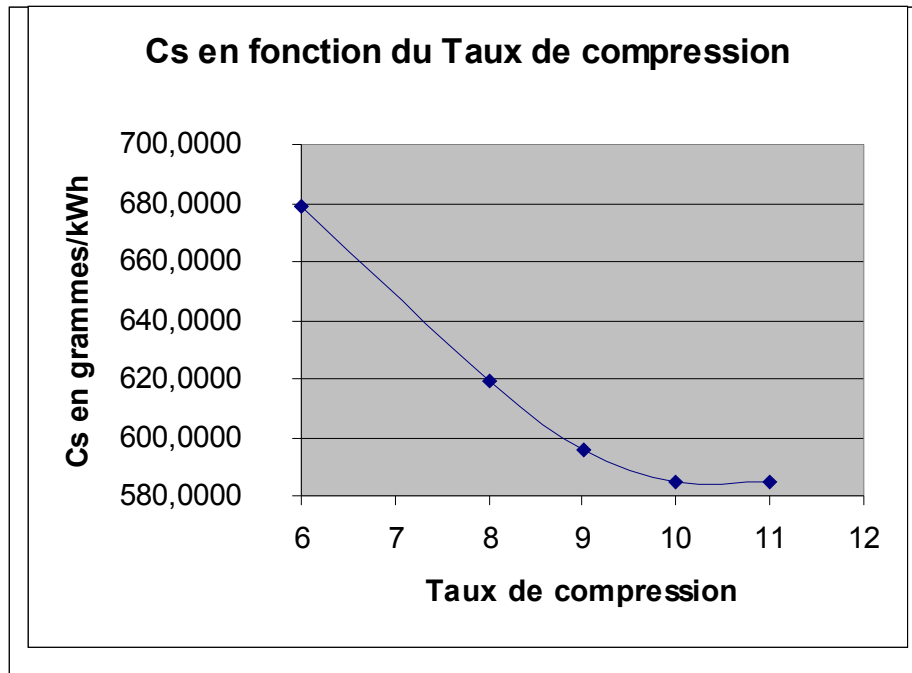
On fixe

Avance = 15°

Richesse =
 1,20

Taux de compression	P(kW)	Cs (gramme/kWh)	Rendement
6	5,129	679,1700	12,1
8	5,625	619,2432	13,3
9	5,846	595,8756	13,8
10	5,956	584,8408	14,0
11	5,956	584,8408	14,0





Commentaires : Le taux de compression ϵ est une variable du calcul du rendement du cycle de Beau de Rochas, il intervient donc thermodynamiquement c'est une variable fondamentale pour la conception d'un moteur : elle varie en pratique de 8 à 12 (essence) et donne directement la puissance. On voit que meilleure est le taux, meilleur seront les performance du moteur, c'est la technologie qui bride l'augmentation de ce taux, mais aussi l'auto-inflammation de l'essence (\rightarrow cliquetis, combustion prématurée..). Longtemps le taux n'a pas dépassé 8-9 pour des raison de mauvaise qualité de l'essence.

2) Incertitudes

-mesure du temps (chronomètre) : 20 ms.

-différences de hauteur d'eau sur les tubes en U, : **2 mm**. Mais etant donné que N est constant cette hauteur n'est pas censée varier.

-lecture de la force : 0,2 kgf.

D'autres erreur proviennent des approximations calculatoires notamment au niveau des débits. Mais ce TP avait plus un but qualitatif que quantitatif : voir l'influence des différents parametres de réglages sur le comportement du moteur. Ces erreurs sont donc négligables.

3) CONCLUSIONS:

Ces essais ont permis de voir qualitativement et quantitativement l'influence des principaux paramètres de réglages sur le comportement d'un moteur. Le taux de compression est primordial dans la détermination de la puissance d'un moteur. Un bon réglage de la richesse permet d'obtenir une combustion la plus totale possible, ceci pose des problèmes de dérèglages : la vis de ralenti du carburant pouvant tourner avec les vibrations du moteur, des réglages réguliers sont donc nécessaires afin d'éviter baisse de performances mais aussi pollution. L'avance (variable ou non) compense les conditions de combustions changeantes dans le moteur une avance variable est donc indispensable pour tout moteur thermique 4T.