

Devoir en Piaule

à rendre vendredi 17 mai

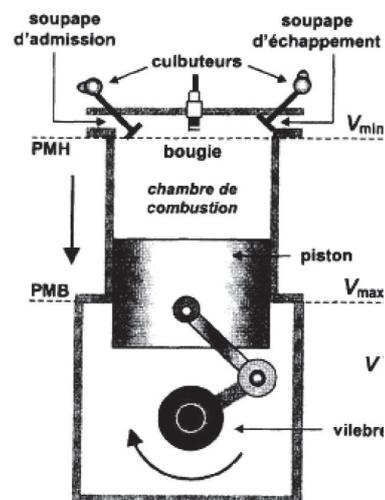
Moteur Automobile

Les moteurs thermiques sont classés en deux catégories suivant la technique d'inflammation du mélange air-carburant : les moteurs à allumage commandé (moteur à essence) et les moteurs à allumage par compression (auto-inflammation du mélange, moteurs Diesel). Ce sont des moteurs à combustion interne car la combustion s'effectue à l'intérieur du moteur. Dans le cas des moteurs à allumage commandé, un mélange convenable air-essence obtenu à l'aide d'un carburateur est admis dans la chambre de combustion du cylindre. L'allumage y est provoqué par une étincelle éclatant entre les deux électrodes d'une bougie. Le moteur comporte en général plusieurs cylindres. Dans chaque cylindre le piston entraîné par le vilebrequin permet de recevoir le travail mécanique des forces de pression lors de la dilatation des gaz chauds produits par la combustion de l'essence. Il coulisse entre le point mort haut (PMH) où le volume V_{min} de la chambre de combustion est minimal et le point mort bas (PMB) où le volume V_{max} de la chambre de combustion est maximal. Le volume ainsi balayé est appelé cylindrée, il est noté $C_y = V_{max} - V_{min} = 2000 \text{ cm}^3$. Le mélange détonnant air-essence est introduit dans le cylindre par l'intermédiaire d'une valve : la soupape d'admission. Les gaz de combustion sont évacués par une autre valve : la soupape d'échappement. L'ouverture et la fermeture des valves sont commandées par l'arbre à cames et les culbuteurs.

Le fonctionnement du moteur peut être schématisé sur un diagramme de Watt (P, V) où P est la pression du gaz contenu dans le volume V de la chambre du cylindre :

- ◇ $I \rightarrow A$: admission du mélange gazeux air-essence dans la chambre de combustion à la température ambiante $T_A = 300 \text{ K}$ et sous pression atmosphérique $P_A = 1 \text{ bar}$.
- ◇ $A \rightarrow B$: compression adiabatique réversible du mélange air-essence (les frottements du piston sur le cylindre sont négligés).
- ◇ $B \rightarrow C$: en B l'étincelle provoque l'explosion du mélange suivie d'une combustion isochore.
- ◇ $C \rightarrow D$: en C , fin de combustion suivie d'une détente adiabatique réversible du gaz brûlé.
- ◇ $D \rightarrow A$: l'ouverture de la soupape d'échappement ramène le gaz brûlé à la pression atmosphérique.
- ◇ $A \rightarrow I$: la remontée du piston évacue le gaz brûlé vers l'extérieur.

Le système fermé constitué du fluide gazeux décrit indéfiniment le cycle ABCDA (cycle Beau de Rochas). Dans cette approche idéalisée, le mélange initial air-essence et les gaz brûlés d'échappement sont assimilés à un même gaz de coefficient $\gamma = 1,35$. n est le nombre de moles de gaz admis dans le cylindre.



1. Etude du cycle :

1.1. Justifier le caractère adiabatique de la compression $A \rightarrow B$, de la détente $C \rightarrow D$ et le caractère isochore de la combustion $B \rightarrow C$ et du refroidissement $D \rightarrow A$. Pourquoi ne prend-on pas en compte les étapes $I \rightarrow A$ et $A \rightarrow I$?

1.2. Exprimer le transfert thermique Q_{BC} is en jeu en fonction de R , n , γ , T_B et T_C . Dans quel sens le transfert thermique Q_{BC} s'effectue-t-il ?

1.3. Exprimer le transfert thermique Q_{DA} is en jeu en fonction de R , n , γ , T_D et T_A . Dans quel sens le transfert thermique Q_{DA} s'effectue-t-il ?

1.4. Exprimer le travail reçu W au cours du cycle $ABCD$ en fonction de Q_{BC} et Q_{DA} .

2. Rendement thermique

2.1. Définir puis exprimer le rendement thermique η_{th} en fonction de Q_{BC} et Q_{DA} puis en fonction de T_A , T_B , T_C et T_D .

2.2. Le rapport volumétrique a (ou taux de compression) est défini par $a = \frac{V_{max}}{V_{min}}$. Exprimer le rendement thermique en fonction de γ et de a . Comment ce rendement varie-t-il en fonction de a ? Calculer sa valeur pour un rapport volumétrique $a = 9$.

2.3. Le rendement global du moteur dépend du rendement thermique mais aussi du rendement mécanique η_{mecc} caractérisant le transfert d'énergie du piston vers le vilebrequin. le rendement mécanique n'excède pas 85 % et peut descendre en dessous de 60 % pour un moteur usagé. Calculer le rendement global η du moteur pour un rendement mécanique $\eta_{mecc} = 75 \%$ et en déduire le volume d'essence produisant effectivement du travail sur 10 L d'essence effectivement consommés.

3. Influence de la combustion

La réaction qui a lieu au sein de la chambre est une réaction de combustion entre le carburant (dans le problème l'octane C_8H_{18} de masse volumique $\rho_{oct} = 720 \text{ kg/m}^3$) et le comburant, l'air. Ceux-ci sont injectés dans les proportions stoechiométriques.

3.1. Exprimer puis calculer le nombre de moles du mélange gazeux aspiré par le cylindre au cours de la phase d'admission $I \rightarrow A$ en fonction de P_A , T_A , R et C_y .

3.2. Au point B du cycle, exprimer la température T_B et la pression P_B qui règnent dans la chambre de combustion au moment de l'explosion en fonction de T_A , P_A , a et γ . Effectuer les applications numériques.

3.3. Une anomalie de combustion est l'auto-allumage qui limite l'augmentation a priori recherchée du rapport volumétrique : le mélange air-essence s'enflamme spontanément dans certaines conditions de confinement avant le déclenchement de l'étincelle. Ce phénomène est reconnaissable aux cliquetis métalliques émis par le moteur. Le température d'auto-allumage étant de $430 \text{ }^\circ\text{C}$, calculer le rapport volumétrique maximal a_{max} permettant d'éviter l'auto-allumage au cours de la phase $A \rightarrow B$. En déduire le rendement thermique maximal du moteur dans ces conditions.

3.4. Ecrire l'équation de la combustion. En déduire la masse m d'octane injectée pour la combustion.

3.5. Expliquer pourquoi le mélange initial air-essence et les gaz d'échappement peuvent être assimilés à un même gaz parfait. Justifier qualitativement pourquoi le meilleur fonctionnement du moteur est obtenu lorsque le carburant et le comburant constituent un mélange stoechiométrique.

3.6. Le pouvoir calorifique inférieur (noté PCI) est la quantité de chaleur libérée par kilogramme de carburant. Dans le cas de l'octane et dans les conditions de confinement, il est de 44700 kJ/kg . Calculer la température T_C et la pression P_C qui règnent dans la chambre en fin de combustion. Comment expliquez-vous ces valeurs anormalement élevées ?

3.7. La voiture se déplace sur une autoroute à la vitesse constante de 110 km/h , le vilebrequin effectuant 3500 tr/min . En supposant que le moteur fonctionne exactement selon le cycle Beau de Rochas, un cycle correspondant à 2 tours de vilebrequin, calculer la consommation en carburant C pour 100 km parcourus et la puissance \mathcal{P} développée par le véhicule en chevaux (un cheval-vapeur est équivalent à une puissance de 736 W). Commenter ce résultat.