

DM n°4

Thème(s) : Thermodynamique

MOTEUR DE SCOOTER

A-1/ Généralités

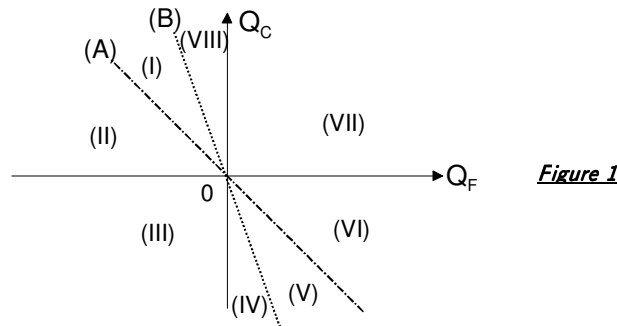
Soit un fluide, définissant le système étudié, effectuant un cycle de transformations entre deux thermostats de températures respectives T_C et T_F avec $T_C > T_F$, qui seront appelées respectivement sources chaude et froide dans la suite. Au cours d'un cycle, le fluide reçoit de manière algébrique des quantités de chaleur Q_C et Q_F respectivement des sources chaude et froide. Enfin, au cours d'un cycle, le travail algébrique reçu par le système est noté W .

A-1-1) A l'aide de l'un des principes de la thermodynamique, établir la relation entre Q_C , Q_F et W ? (relation 1)

A-1-2) Grâce aux principes de la thermodynamique, relier les grandeurs Q_C , Q_F , T_C et T_F .

A-1-3) Envisager le cas d'un cycle décrit de manière réversible. Dans ce cas, exprimer la relation entre Q_C , Q_F , T_C et T_F sous forme d'une égalité. (relation 2)

Il est possible de discuter du principe de fonctionnement général des machines dithermes en considérant un diagramme appelé « diagramme de Raveau ». Ce diagramme est représenté ci-dessous (figure 1) :



(A) et (B) désignent les droites représentatives des équations :

- (A) : $Q_C = -Q_F$
- (B) : $Q_C = -Q_F \cdot \frac{T_C}{T_F}$

En considérant ces droites, ainsi que les axes du diagramme, le plan est alors partagé en huit domaines différents.

A-1-4-a) Indiquer les domaines correspondant à des fonctionnements interdits par les principes de la thermodynamique.

A-1-4-b) Parmi les domaines restants, indiquer les domaines correspondant aux fonctionnements de la machine en moteur, en pompe à chaleur ou en réfrigérateur.

A-1-5) Dans le cas d'une machine fonctionnant en moteur, définir le rendement η du système. Exprimer ce rendement en fonction de Q_C et Q_F uniquement.

A-1-6) Montrer que ce rendement est toujours inférieur au rendement théorique de Carnot η_C obtenu pour des évolutions réversibles. (théorème de Carnot). Le rendement de Carnot sera exprimé uniquement en fonction des températures des sources.

Discussions :

A-1-7-a) Exprimer la puissance moyenne, sur un cycle de durée Δt , développée par un tel dispositif en fonction de Δt , Q_C et le rendement η ?

A-1-7-b) Justifier qualitativement qu'un cycle de Carnot est forcément composé de deux adiabatiques réversibles et de deux isothermes réversibles.

A-1-7-c) Proposer une valeur numérique plausible pour le rendement de Carnot. Les rendements réels des moteurs thermiques sont-ils proches de cette valeur ?

A-1-7-d) Existe-t-il d'autres types de moteurs qui ne soient pas soumis au théorème de Carnot ?

A-2 / Moteur à deux temps

Le scooter étudié utilise un moteur à explosion. Suivant la cylindrée, il existe une technologie de moteur à explosion à quatre temps ou bien à deux temps. On étudie ici plus précisément le moteur à deux temps de marque Marinelli® dont est équipé le scooter étudié. Ce moteur, inventé en 1860 par Etienne Lenoir, est dédié aux scooters de petite cylindrée (typiquement des « 50 cm³ »).

Le principe de fonctionnement est le suivant : (illustré en figure 2)

- étape A : admission dans le carter du mélange par une « lumière » notée (A) et début de la compression dans le haut du cylindre d'une autre partie du mélange ;
- étape B : fin de la compression de la partie du gaz située dans le carter et explosion puis détente dans le haut du cylindre ;
- étape C : transfert entre le carter et le cylindre par une deuxième « lumière », notée (C) pendant que s'échappent les gaz brûlés par une troisième « lumière » (E) ;
- la partie supérieure du cylindre possède un volume compris entre V_{\min} et V_{\max} .

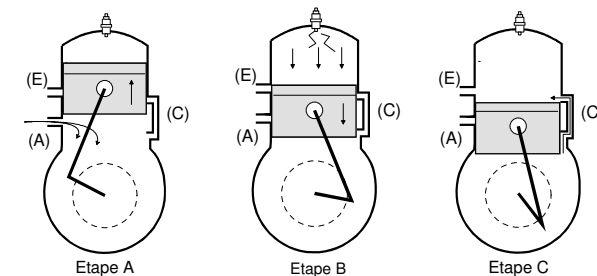


Figure 2

Le cycle thermodynamique décrit par le mélange gazeux dans le cylindre est modélisé par un cycle représenté ci-dessous, figure 3.

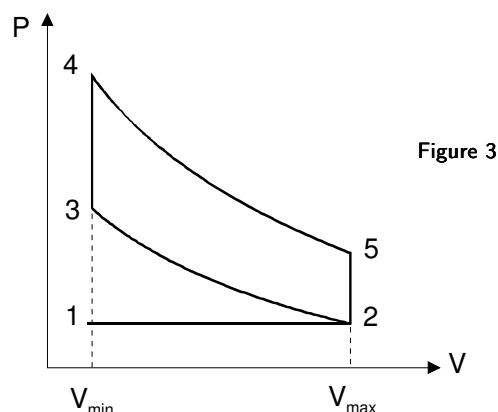


Figure 3

Le taux de compression volumétrique est noté : $a = \frac{V_{\max}}{V_{\min}}$.

La notice technique du motoriste indique les informations suivantes :

- vitesse maximale : 50 km.h⁻¹ ;
- vitesse angulaire maximale du vilebrequin : 6000 tours.min⁻¹ ;
- puissance maximale : 2,40 kW ;
- cylindrée : $V_{\max} - V_{\min}$ 49,2 cm³ ;
- course du piston : 40 mm.

Le mélange gazeux, composé en majorité d'air, est considéré comme un gaz parfait diatomique de masse molaire 29 g.mol⁻¹, pour lequel $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$. Les coordonnées thermodynamiques du point 2 du cycle sont : $T_2 = 300$ K ; $P_2 = 10^5$ Pa.

La constante des gaz parfaits est $R = 8,31$ J.mol⁻¹.K⁻¹.

Le pouvoir calorifique, noté q, supposé indépendant de la température, correspond à la chaleur libérée par la combustion d'un volume unitaire d'essence : $q = 30$ kJ.cm⁻³.

Caractéristiques du cycle moteur :

A-2-1) Pourquoi ce moteur à explosion est-il considéré comme un moteur à deux temps ?

A-2-2) Lorsque le scooter roule à vitesse maximale avec un vilebrequin tournant lui aussi à sa vitesse maximale, calculer la durée d'un cycle moteur.

A-2-3) En déduire la vitesse moyenne du piston sur un cycle.

A-2-4) Aux températures moyennes du mélange gazeux, la vitesse quadratique moyenne des molécules est de l'ordre de 500 m.s⁻¹.

En déduire une caractéristique des évolutions 2 – 3 et 4 – 5.

A-2-5) Rappeler pour quel type de système et pour quel type de transformation, la loi de Laplace $PV^\gamma = \text{cte}$ est applicable.
Pourquoi dit-on qu'une transformation adiabatique réversible est isentropique ?
Est-ce que cela dépend de la nature du système ?

Dans ce qui suit, on supposera que la détente et la compression du gaz parfait dans le cycle moteur suivent la loi de Laplace.

A-2-6) La pression en fin de compression s'élève à $P_3 = 6.10^5$ Pa. En déduire l'expression du taux de compression volumétrique a en fonction de P_3 , P_2 et γ .

Pour la suite du problème, on prendra $a = 3,6$.

Rendement :

A-2-7-a) Exprimer le travail fourni par le moteur au cours d'un cycle en fonction de R , γ , P_2 , V_{\max} et des températures T_2 , T_3 , T_4 , T_5 des points 2, 3, 4 et 5.

A-2-7-b) Exprimer la chaleur libérée par la combustion en fonction de R , γ , P_2 , V_{\max} , T_4 , T_3 , T_2 .

A-2-7-c) Définir le rendement thermodynamique η du cycle et l'exprimer en fonction des températures T_2 , T_3 , T_4 , T_5 , puis en fonction a et γ .

Consommation :

A-2-8-a) Pour un rendement de 0,4, calculer la chaleur libérée par la combustion à chaque cycle, lorsque le scooter roule à sa vitesse maximale et à son régime de puissance maximale.

A-2-8-b) En déduire la consommation d'essence pour parcourir 100 km. Commenter le résultat.

Discussions :

A-2-9) Pourquoi peut-on dire qu'a priori un moteur deux temps, de même cylindrée et de même régime est deux fois plus puissant qu'un moteur à quatre temps ? En réalité, la puissance n'est que 1,5 fois plus grande. Pourquoi ?