

## DM n°4

Thème(s) : Thermodynamique

## MOTEUR DE SCOOTER

## A-1/ Généralités

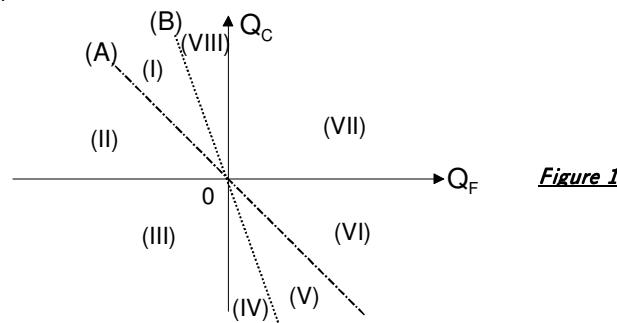
Soit un fluide, définissant le système étudié, effectuant un cycle de transformations entre deux thermostats de températures respectives  $T_C$  et  $T_F$  avec  $T_C > T_F$ , qui seront appelées respectivement sources chaude et froide dans la suite. Au cours d'un cycle, le fluide reçoit de manière algébrique 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  $\eta$  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  $\eta_C$  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  $\Delta t$ , développée par un tel dispositif en fonction de  $\Delta t$ ,  $Q_C$  et le rendement  $\eta$  ?

**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 cm<sup>3</sup> »).

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  $V_{\max}$ .

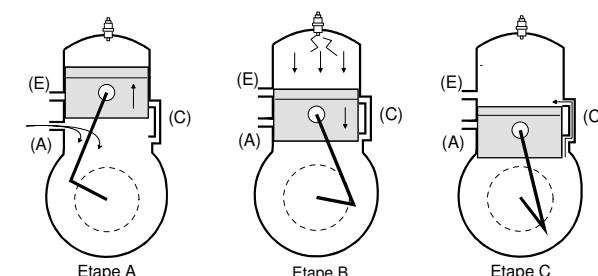


Figure 2

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

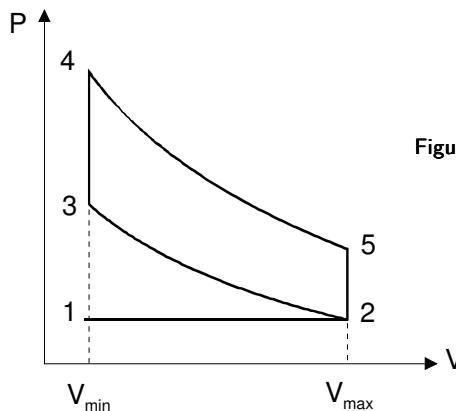


Figure 3

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<sup>-1</sup> ;
- vitesse angulaire maximale du vilebrequin : 6000 tours.min<sup>-1</sup> ;
- puissance maximale : 2,40 kW ;
- cylindrée :  $V_{\max} - V_{\min} = 49,2 \text{ cm}^3$  ;
- 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<sup>-1</sup>, pour lequel  $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ . Les coordonnées thermodynamiques du point 2 du cycle sont :  $T_2 = 300 \text{ K}$  ;  $P_2 = 10^5 \text{ Pa}$ .

La constante des gaz parfaits est  $R = 8,31 \text{ J.mol}^{-1} \text{.K}^{-1}$ .

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

#### 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<sup>-1</sup>.

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  $P_3 = 6.10^5 \text{ Pa}$ . En déduire l'expression du taux de compression volumétrique  $a$  en fonction de  $P_3$ ,  $P_2$  et  $\gamma$ .

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  $R$ ,  $\gamma$ ,  $P_2$ ,  $V_{\max}$  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  $R$ ,  $\gamma$ ,  $P_2$ ,  $V_{\max}$ ,  $T_4$ ,  $T_3$ ,  $T_2$ .

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

#### 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 ?