

**Thermodynamique série n°4: Machine thermique, changement de phase****Exercice 1 : Climatiseur** ◆

Un local, de capacité thermique  $C = 4000 \text{ kJ.K}^{-1}$ , est initialement à la température de l'air extérieur  $T_0 = 305 \text{ K}$ . Un climatiseur, fonctionnant de façon cyclique réversible ditherme entre l'air extérieur comme source chaude et le local comme source froide, ramène la température du local à  $T_1 = 293 \text{ K}$  en 1h.

Quelle est la puissance électrique moyenne  $P$  reçue par le climatiseur ?

**Exercice 2 : Cycle de Stirling** ◆◆

Une même quantité d'air reçoit un transfert thermique d'une source chaude ( $T_c = 1500 \text{ K}$ ) constituée d'une chambre de combustion où un combustible brûle continûment, puis cède un transfert thermique à une source froide ( $T_f = 320 \text{ K}$ ) qui est le circuit de refroidissement.

Les transformations sont réversibles. L'air est un gaz parfait de coefficient  $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1.4$  et

$$R = 8.314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}.$$

L'air dans **l'état 1** ( $P_1; V_1 = 0,10 \text{ L}; T_1 = T_c$ ) se détend de façon isotherme jusqu'à **l'état 2** ( $P_2; V_2 = 1,00 \text{ L}$ ) puis refroidissement isochore au contact de la source froide jusqu'à **l'état 3** ( $P_3 = 1 \text{ bar}; T_3 = T_f$ ) puis compression isotherme jusqu'à **l'état 4** ( $P_4; V_4 = 0,10 \text{ L}$ ) puis échauffement isochore jusqu'à **l'état 1**.

a) Préciser numériquement les divers états de l'air (c'est-à-dire  $P, V, T$ ).

b) Représenter le diagramme  $P(V)$ .

c) Calculer le travail et la chaleur échangés pour chaque transformation.

d) Calculer le rendement du cycle dans les 2 cas :

- Les transferts thermiques isochores sont indépendants.

- L'échauffement isochore est réalisé à l'aide du refroidissement isochore

Comparer au rendement de Carnot.

**Exercice 3 : Rendement et puissance du cycle d'un moteur diesel** ◆◆◆

Un moteur thermique utilisant un fluide parfait, décrit un cycle réversible Diesel  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$  composé d'une isobare et d'une isochore reliées par deux adiabatiques :

•  $1 \rightarrow 2$  : L'air admis subit une compression adiabatique de l'état initial  $1(P_1, V_1, T_1)$  à l'état  $2(P_2, V_2, T_2)$ .

•  $2 \rightarrow 3$  : Combustion isobare par injection progressive du carburant entre l'état  $2(P_2, V_2, T_2)$  et l'état  $3(V_3, T_3)$ .

•  $3 \rightarrow 4$  : L'injection cesse en 3 et le mélange subit une détente adiabatique jusqu'à l'état  $4(V_4 = V_1, T_4)$ .

•  $4 \rightarrow 1$  : Refroidissement isochore.

a) Représenter le cycle Diesel dans un diagramme  $(P, V)$ .

b) Exprimer le rendement du cycle Diesel sur un diagramme, en fonction :

- des températures  $T_1, T_2, T_3$  et  $T_4$  et du rapport  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$  du mélange gazeux.

- du « taux de compression »  $x = \frac{V_1}{V_2}$  et du « taux de détente »  $y = \frac{V_1}{V_3}$  et du rapport  $\gamma$ .

c) Une automobile à moteur Diesel possède les caractéristiques suivantes :

- Taux de compression  $x = 21$ .

- Taux de détente  $y = 7$ .

A la vitesse maximale du véhicule  $v = 147 \text{ km.h}^{-1}$  correspond à  $N = 4500$  tours/minute, la consommation est  $c = 8$  litres de carburant (gazoil) aux 100 km (pas très écologique !). Le gazoil a une masse volumique  $\rho = 0,8 \text{ kg.L}^{-1}$  et un pouvoir calorifique  $q = 46,9 \text{ kJ/g}$  (ce dernier terme correspond à l'énergie thermique fournie par unité de masse lors de la combustion du gazoil). Déterminer :

- Le rendement théorique de ce moteur Diesel avec  $\gamma = 1,4$ .

- La masse de carburant injectée à chaque cycle, à vitesse maximale.

- La puissance maximale de ce moteur Diesel, supposé idéal.

#### **Exercice 4 : Fusion de la glace ♦♦**

Un bloc de métal de masse  $m = 1 \text{ kg}$ , de capacité thermique  $C_b = 400 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  parfaitement calorifugé, possède une cavité dans laquelle on peut mettre un liquide, un solide et un thermomètre.

Il est porté à  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ , on introduit ensuite dans la cavité un mélange de glace (masse =  $m_g$ ) et de l'eau liquide (masse =  $m_\ell$ ) pris à  $0^\circ\text{C}$ .

Donner la température finale et la composition dans la cavité dans chaque cas :

a)  $m_g = m_\ell = 50 \text{ g}$

b)  $m_g = 120 \text{ g}$ ,  $m_\ell$  quelconque

c)  $m_g = 200 \text{ g}$ ,  $m_\ell$  quelconque

On donne :

Capacité thermique massique de l'eau (supposée identique pour les deux phases) ;  
 $C_e = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

Enthalpie massique de fusion de l'eau :  $\Delta_{\text{fus}}H = 333 \text{ kJ.kg}^{-1}$  à  $0^\circ\text{C}$ .

#### **Exercice 5 : Isothermes d'Andrews ♦♦**

Une mole de vapeur sèche (la vapeur est considérée comme un gaz parfait) est comprimée (sur un chemin réversible) de façon isotherme à  $T_0$  d'un volume  $V_1$  à un volume  $V_2$  tel qu'il y ait liquéfaction partielle sous la pression  $P^*$ .

a) Représenter la transformation dans un diagramme de Clapeyron.

b) Exprimer le travail échangé lors de la compression.

c) Exprimer la quantité d'eau liquéfiée

d) Calculer la variation d'entropie du système. On notera  $\Delta_{\text{vap}}H$  l'enthalpie molaire de vaporisation.