Correction du partiel de thermodynamique :

Exercice 1. Questions de cours (5 points – pas de points négatifs pour le QCM). Pour certaines questions il faut cocher plusieurs bonnes réponses.

1. Entourer dans la liste suivante les variables d'état que l'on peut qualifier d'intensive :
   a. Pression
   b. Température
   c. Volume
   d. Masse

2. Une transformation isobare est une transformation où :
   a. La température est constante
   b. La pression est constante
   c. Le volume est constant
   d. La force est constante

3. Pour une transformation isobare le travail vaut :
   a. $W = 0$
   b. $W = nRT \ln (\frac{V_{initial}}{V_{final}})$
   c. $W = -\mathrm{P}_0 \left(V_{initial} - V_{final}\right)$
   d. $W = -\mathrm{P}_0 \left(V_{final} - V_{initial}\right)$

4. La relation mathématique traduisant la force de pression est :
   a. $d\vec{F} = P\, ds$
   b. $d\vec{F} = P\, d\vec{s}$
   c. $d\vec{F} = m.g\, d\vec{s}$
   d. $d\vec{P} = F\, d\vec{s}$

5. L'énergie est une grandeur qui s'exprime :
   a. En kg
   b. En J
   c. En m
   d. En N

Exercice 2 : Détermination de la capacité thermique du cuivre (6 points)

Afin de mesurer la capacité thermique massique du cuivre on réalise l'expérience suivante :

- On prépare un récipient parfaitement isolé du monde extérieur en y mettant à l'intérieur m_{eau} = 100 g d'eau à T_{eau} = 25°C.
- On plonge alors une barre de cuivre de m_{cuivre} 200g et dont la température initiale est de T_{cuivre} = 60°C.
- A l'équilibre thermique, la température de l'eau et du cuivre est de T_f = 30°C.

Afin de pouvoir réaliser les calculs nous prendrons une valeur arrondie de la capacité thermique de l'eau liquide égale à 4 $kJ.kg^{-1}.K^{-1}$.

1. Expliquer le sens de déplacement de la chaleur.

La chaleur se déplace de la source chaude à la source froide. (1pt)

2. Donner l'expression littérale de ΔH_{eau}, la variation d'enthalpie de l'eau lors de l'expérience. (1pt)

$$\Delta H_{eau} = m_{eau}\ c_{eau}\ (T_f - T_{eau})$$

3. Donner l'expression littérale de ΔH_{cuivre}, la variation d'enthalpie du cuivre lors de l'expérience. (1pt)

$$\Delta H_{cuivre} = m_{cuivre}\ c_{cuivre}\ (T_f - T_{cuivre})$$

4. Quel lien existe-t-il entre ΔH_{eau} et ΔH_{cuivre} ? Justifier cela à l'aide de l'énoncé. (1pt)

$$\Delta H_{cuivre} + \Delta H_{eau} = 0$$

5. A partir des expressions précédemment établies, donner l'expression littérale de la capacité thermique du cuivre. (1pt)

$$m_{cuivre}\ c_{cuivre}\left(T_f - T_{cuivre}\right) + m_{eau}\ c_{eau}\left(T_f - T_{eau}\right) = 0$$

$$c_{cuivre} = -\frac{m_{eau}\ c_{eau}\left(T_f - T_{eau}\right)}{m_{cuivre}\ \left(T_f - T_{cuivre}\right)}$$

6. Réaliser l'application numérique afin d'en donner un ordre de grandeur puis la comparer à celle de l'eau. (1pt)

$$c_{cuivre} = -\frac{0{,}1\ \times 4\ \times 5}{0{,}2\ \times\ 30} = \frac{2}{0{,}2} \times \frac{1}{30} = \frac{1}{3} kJ/kg/K$$

C'est beaucoup plus faible que la capacité thermique de l'eau : il emmagasine moins bien la chaleur que l'eau.

Exercice 3 : Machine thermique et cycle de Watt (5 points)

Le cycle de Lenoir est un modèle idéalisé de cycle moteur à deux temps, introduit par Lenoir en 1860 pour décrire le fonctionnement du moteur à gaz qu'il avait mis au point l'année précédente. On raisonne sur l'air présent dans la chambre de combustion du moteur, modélisé par un gaz parfait. Après une phase d'admission d'air dans la chambre de combustion et le processus d'inflammation, l'air dans la chambre est caractérisé par $T_1 = 100$ °C, $V_1 = 10$ L et $P_1 = 2.\ 10^5$ Pa. À partir de cet état 1, l'air constitue un système fermé de quantité de matière n_0. Le cycle qu'il subit se compose des étapes suivantes :

- $1 \to 2$: explosion isochore jusqu'à la pression P_2 ;
- $2 \to 3$: détente isotherme jusqu'à un volume $V_3 = 2V_1$;
- $3 \to 1$: compression isobare jusqu'à revenir au volume initial.

Les gaz brûlés sont ensuite évacués hors de la chambre de combustion, et un nouveau cycle démarre.

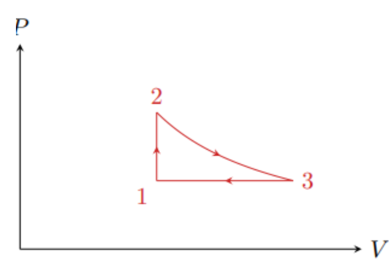
On cherche à représenter le cycle dans le diagramme de Watt (P, V). Pour pouvoir définir les grandeurs d'état tout au long des transformations, on raisonne sur des transformations quasi-statiques.

1. Déterminer l'équation d'une isotherme quasi-statique d'un gaz parfait dans le diagramme de Watt. (1pt)

$$PV = nRT$$

$$P = \frac{nRT}{V}$$

2. En déduire la représentation du cycle et le tracer aussi soigneusement que possible en faisant apparaitre V_1, V_3 ainsi que P_1 et P_2. (1,5pt soit 0,5pt par courbe ok)



3. Donner l'expression du transfert thermique pour chacune des étapes.

Iso V : W = 0 car dV =0 (0,5 pt)

Iso P : W = $-P_1(V_1 - V_3)$ (0,5pt)

Iso T : W= $-\int PdV = -\int \frac{(nRT_2)}{V} dV = -nRT_2 \int \frac{dV}{V} = nRT_2 \ln\left(\frac{V_3}{V_2}\right) = nRT_2\, ln2$ (1,5pt)

Exercice 4 : Rendement d'un moteur (4 points)

Voici le schéma de principe d'une machine comportant 2 sources de chaleur. Dans une telle machine il existe les échanges d'énergie suivants :

- De la chaleur avec une source froide T_f
- De la chaleur avec une source chaude T_c
- Du travail avec le milieu extérieur

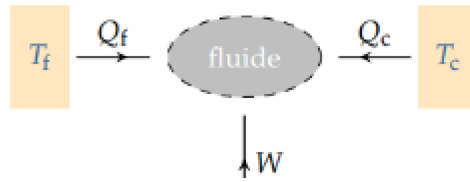


Figure 1 : Schéma énergétique d'une machine ditherme (source : femto-physique.fr)

Nous considèrerons que l'ensemble des transformations est réversible.

1. Enoncer le premier principe de la thermodynamique en l'adaptant au cas présent et en utilisant les mêmes notations. Que peut-on dire de particulier pour la valeur de la différence d'énergie interne ? Justifier la réponse.

$\Delta U = Q_c + Q_f + W$ (0,5 pt)

La différence d'énergie interne est nulle car l'état initial et l'état final sont identiques. (Ui=Uf) (0,5 pt)

2. Citer le deuxième principe de la thermodynamique en l'adaptant au cas présent et en utilisant les mêmes notations. (1 pt)

$$\Delta S = S_{echangée} + S_{créée} = S_{echangée} = \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f}$$

3. Le rendement d'une machine thermique se définit comme le rapport de l'énergie utile sur l'énergie coûteuse. Définir le rendement du moteur en fonction de Q_c et Q_f dans un premier temps, puis de T_c et T_f dans un second temps.
   - (0,5 pt pour la formule $\rho = \left|\frac{énergie\ utile}{énergie\ coûteuse}\right|$)
   - (0,5 pt pour la formule $\rho = -\frac{W}{Q_c}$)
   - (0,5 pt pour la formule $\rho = 1 + \frac{Q_f}{Q_c}$)
   - (0,5 pt pour la formule $\rho = 1 - \frac{T_f}{T_c}$)

$$\rho = \left|\frac{énergie\ utile}{énergie\ coûteuse}\right| = -\frac{W}{Q_c} = 1 + \frac{Q_f}{Q_c}$$

$$\frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} = 0$$

Soit

$$\frac{Q_f}{Q_c} = \frac{T_f}{T_c}$$

$$\rho = 1 - \frac{T_f}{T_c}$$