

TD 1

Rappels de Thermodynamique – Bilan énergétique.

Exercice 1 : Chauffage d'eau dans une théière.

1,2 litre d'eau liquide à 15°C sont chauffés dans une théière équipée d'une résistance électrique de 1200W . La théière pèse $0,5\text{kg}$ et sa capacité calorifique est de $0,7\text{kJ/kg/K}$. On néglige les pertes de chaleur. Combien de temps faut-il pour chauffer l'eau à 95°C ?

Exercice 2 : Mesure de la température moyenne d'une masse de verre en fusion.

Lors de la fabrication d'une bouteille en verre, une goutte de verre en fusion, appelée paraison, tombe en chute libre d'une hauteur H du distributeur de verre dans le moule ébaucheur. Pour mesurer la température moyenne de la paraison, les verriers remplacent le moule par un calorimètre contenant une masse d'eau m_{eau} à la température ambiante T_a . Une fois la paraison tombée dans le calorimètre, celui-ci est refermé, et on mesure la température d'équilibre de l'eau et du verre T_{eq} . Les mesures ayant donné les valeurs ci-dessous, calculez la température moyenne de la paraison à la sortie du distributeur de verre. On négligera les transferts de chaleur avec l'air pendant la chute, ainsi que la résistance de ce dernier. Les parois du calorimètre sont supposées adiabatiques. Vous définirez précisément le système thermodynamique étudié.

Masse d'eau : $m_{\text{eau}} = 10\text{ kg}$

Masse de la paraison : $m_{\text{verre}} = 100\text{ g}$

Capacité calorifique de l'eau : $C_{\text{eau}} = 4180\text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Capacité calorifique du verre : $C_{\text{verre}} = 800\text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Température ambiante : $T_a = 30^{\circ}\text{C}$

Température d'équilibre : $T_{\text{eq}} = 32,0^{\circ}\text{C}$

Hauteur de chute : $H = 2\text{ m}$

L'erreur de mesure sur T_a et sur T_{eq} est de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Critiquer la méthode employée. Comment l'améliorer ?

Exercice 3 : Travail de compression.

Une masse m de gaz parfait est initialement en équilibre thermodynamique avec le milieu extérieur, à la température T_a et à la pression p_a . Son volume initial est V_0 . Comparer le travail nécessaire pour l'amener à la pression p_1 , à la température T_a , pour les deux transformations suivantes :

- Compression isotherme ;
- Compression adiabatique réversible, suivie d'un refroidissement isochore.

Déterminer la quantité de chaleur échangée dans chaque cas. Représenter schématiquement ces trois transformations sur le diagramme de Clapeyron. En quoi est-il avantageux de refroidir un compresseur ?

Application numérique : $V_0 = 1\text{ litre}$, $p_0 = 1\text{ bar}$, $p_1 = 10\text{ bar}$, $T_a = 20^{\circ}\text{C}$.

Exercice 4 : chauffage d'eau pour une douche.

De l'eau passe dans un tuyau à raison de 15 l/min . Une résistance électrique fait passer la température de l'eau de 15 à 43°C . Quel est le prix d'une douche sachant que la durée de la douche est de 4 min , que le kWh est à $0,11 \text{ €}$ et le m^3 d'eau est à $2,8 \text{ €}$.

Exercice 5 : moteur pneumatique.

On étudie un moteur pneumatique, constitué d'une chambre dont on peut faire varier le volume en déplaçant un piston, et qui fonctionne selon le cycle décrit ci-dessous. La pression atmosphérique et la température ambiante sont notées respectivement p_a et T_a .

- Etat initial : le piston est au point mort haut, les soupapes d'admission et d'échappement sont fermées. Une masse m_i d'air est emprisonnée dans le cylindre, elle occupe un volume V_0 (volume mort).
- Transformation 0-1 : à l'instant où le piston entame sa descente, la soupape d'admission s'ouvre, mettant en contact la chambre avec un réservoir d'air comprimé dont la pression et la température sont constantes, égales respectivement à p_0 et T_a . ($p_0 > p_a$). La soupape d'admission se ferme lorsque le piston est au point mort bas. Le volume de la chambre est alors égal à V_1 .
- Transformation 1-2 : à l'instant où le piston entame sa remontée, la soupape d'échappement s'ouvre, mettant la chambre en communication avec le milieu extérieur (pression atmosphérique p_a , température ambiante T_a). Une fois le point mort haut atteint, la soupape d'échappement est refermée, et un nouveau cycle débute.

On appelle travail utile W_u le travail communiqué au piston au cours d'un cycle. Par ailleurs, on note Q la chaleur changée au cours d'un cycle, et m_e la masse d'air qui transite du réservoir vers le milieu extérieur, également au cours d'un cycle.

1- En appliquant le premier principe à un système judicieusement choisi, démontrer la relation : $m_e \Delta h = Q + W_u$ dans laquelle Δh est la variation d'enthalpie massique de l'air entre l'entrée et la sortie du moteur.

2- Quels moyens de mesure faudrait-il mettre en œuvre pour faire le bilan énergétique complet de l'installation décrite ci-dessus ?

3- Dans ce qui suit, on fait les hypothèses supplémentaires suivantes :

- lorsqu'une soupape s'ouvre, les pressions s'équilibrent suffisamment vite pour que l'on puisse négliger le déplacement du piston pendant ce laps de temps. Par la suite, la pression dans la chambre peut être supposée uniforme et constante pendant tout le déplacement du piston (évolution isobare) ;
- les parois de la chambre sont diathermes ; lorsque le piston arrive au point mort bas ou au point mort haut, la température de l'air dans le cylindre a eu le temps de s'équilibrer avec le milieu extérieur : elle est donc égale à la température ambiante T_a .

a- Calculer le travail utile sur un cycle, en fonction de la cylindrée $V_c = V_1 - V_0$ et de la différence de pression $\Delta p = p_0 - p_a$; calculer la masse d'air m_e utilisée sur un cycle.

b- En déduire la chaleur échangée pendant un cycle.