

# Thermodynamique TD 2

## Premier principe, bilans d'énergie.

### Exercice 1 : Capacité thermique dépendant de la température:

On chauffe deux moles d'eau sous forme gazeuse dans un récipient fermé de volume constant de 273 K à 573 K.

Quelle quantité de chaleur faut-il apporter ?

On donne  $C_p(\text{H}_2\text{O}_{(g)}) = 30,54 + 0,0103 T$  en  $\text{J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

### Exercice 2 : Transformation cyclique:

Un récipient de 10 L contient de l'air sous la pression de 80 cm de mercure à la température de 20°C. On assimile l'air à un gaz parfait dont  $\gamma = 1,4$  et auquel on fait subir une suite de transformations :

- On lui fait subir une compression isotherme infiniment lente jusqu'à la pression de 800 cm de mercure.
- On ramène le gaz à sa pression initiale par une détente adiabatique infiniment lente.

Données : Au cours d'une transformation adiabatique, on a la relation (démontrée chapitre suivant) :  $Pv^\gamma = \text{cste}$

- Ce gaz est enfin ramené à son état initial par une transformation monobare.
1. Déterminez, pour chacune des transformations, la valeur des variables d'état dans l'état d'équilibre final ( $P_f$ ,  $T_f$ ,  $V_f$ ), la valeur des transferts d'énergie avec le milieu extérieur et la variation d'énergie interne du système.
  2. Calculez la somme des transferts énergétiques pour la transformation totale.
- Conclusion ?

### Exercice 3 : Remplissage d'un récipient initialement vide:

Soit un récipient vide de volume  $V_1 = 10$  L dont les parois sont calorifugées. On assimile l'air constituant le milieu extérieur à un gaz parfait à la pression  $P_0 = 1$  atm et à la température  $T_0 = 300$  K (on prendra  $\gamma = 1,4$ ). On ouvre une vanne dans la paroi du récipient. L'air y pénètre très rapidement. On referme la vanne lorsque l'équilibre des pressions est réalisé.

1. Définissez le système sur lequel vous travaillez.
2. Déterminez la variation d'énergie interne du système choisi à la première question ainsi que la température du gaz à l'intérieur du récipient.

#### Exercice 4 : Calorimétrie :

1. Un calorimètre contient 95,0 g d'eau à 20,0°C. On y ajoute 71,0 g d'eau à 50,0°C.

a) Quelle est la variation d'enthalpie du système (calorimètre, accessoires, deux volumes d'eau) ?

b) Quelle serait la température d'équilibre si on pouvait négliger la capacité thermique du calorimètre et de ses accessoires devant celle de l'eau ?

c) La température d'équilibre observée est 31,3°C. Déduisez-en la « valeur en eau » du calorimètre et de ses accessoires.

Définition : Valeur en eau du calorimètre : c'est la masse d'eau qui aurait la même capacité thermique que le calorimètre et ses accessoires.

2. Le même calorimètre contient maintenant 100,0 g d'eau à 15,0°C. On y plonge un échantillon de métal de masse 25,0 g sortant de l'étuve à 95,0°C.

La température d'équilibre étant de 16,7°C, calculez la capacité thermique massique du métal.

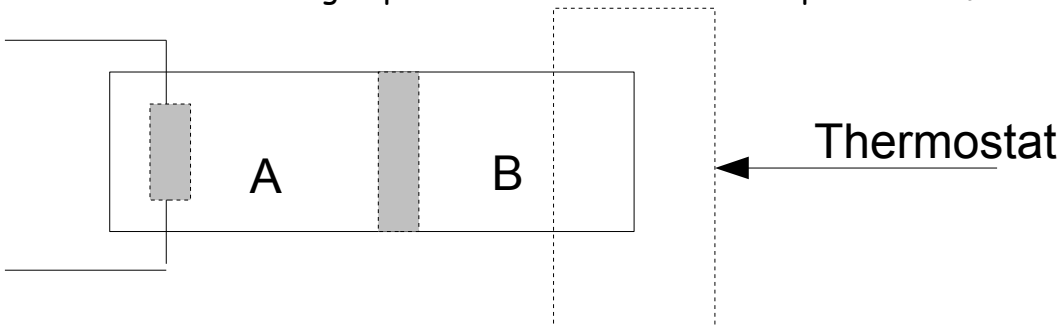
Pour l'eau :  $c_0 = 4,18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

3. Le même calorimètre contient une masse  $m_0$  d'eau à la température  $T_0$ . A l'intérieur, on place une résistance  $R$  dans laquelle on fait passer un courant  $I$  constant. La résistance  $R$  varie avec la température suivant la loi  $R = R_0(1 + \alpha T)$  avec  $R_0$  et  $\alpha$  constantes. A  $t = 0$ , on allume l'alimentation de la résistance.

Déterminez l'expression de la température de l'eau en fonction du temps.

#### Exercice 5 : Transfert thermique :

Un cylindre fermé horizontal est divisé en deux compartiments A et B, initialement de même volume  $V_0$ , par un piston mobile calorifugé. Chacun des deux compartiments contient une mole de gaz parfait initialement à la température  $T_0$  et à la pression  $P_0$ .



Seule la paroi à l'extrémité de B est en contact avec le thermostat n'est pas calorifugée.

Le compartiment A est porté très lentement à la température  $T_1$  à l'aide d'une résistance chauffante. Le compartiment B reste à la température  $T_0$  grâce au contact thermique avec le thermostat.

1. Exprimez les volumes finaux  $V_A$  et  $V_B$  ainsi que la pression finale  $P_f$  en fonction de  $T_1$ ,  $T_0$  et  $V_0$ .

- Exprimez la variation d'énergie interne du gaz contenu dans le compartiment A puis la variation d'énergie interne du gaz contenu dans le compartiment B, enfin la variation d'énergie interne du gaz contenu dans le compartiment (A+B). La résistance chauffante et le piston sont exclus du système.
- Quelle est la nature de la transformation subie par le gaz en B? Quel est le travail échangé par B avec A? Déduisez-en le transfert thermique  $Q_1$  entre le gaz en B et le thermostat. Exprimez-le en fonction de  $T_0$ ,  $T_1$  et R (constante des gaz parfaits)
- En considérant le système A, trouvez le transfert thermique  $Q_2$  fourni par la résistance chauffante en fonction de  $T_0$ ,  $T_1$ , R et  $\gamma$ .

### Exercice 6: Vaporisation de l'eau:

Antoine a mis à chauffer 1 litre d'eau en vue de se cuisiner des pâtes. Mais, captivé par la série qu'il regarde, il oublie les pâtes...

- Déterminez les variations d'enthalpie et d'énergie interne d'un kilogramme d'eau liquide à 100 °C que l'on vaporise sous la pression  $P = 1 \text{ atm}$ . On assimilera la vapeur d'eau à un gaz parfait.
- Calculez le transfert thermique nécessaire pour faire passer un litre d'eau liquide à 25 °C à l'état vapeur à 100 °C, sous une atmosphère.
- Quelle serait la masse que l'on pourrait monter jusqu'au sommet de la Tour Eiffel en utilisant l'énergie déterminée question précédente? Commentaire sur l'énergie consommée inutilement par Antoine?

Données : pour l'eau :  $l_v = 2257 \text{ kJ.kg}^{-1}$ ;  $c_l = 4180 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ ; volume molaire de la vapeur :  $30,6 \text{ L.mol}^{-1}$  à 100°C sous une atm  
hauteur de la Tour Eiffel : 324 m

### Exercice 7: Liquéfaction du diazote par une détente de Joule-Kelvin:

On cherche à obtenir du diazote liquide à la température  $T_0 = 78 \text{ K}$  pour laquelle la pression de vapeur saturante vaut  $P_0 = f(T_0) = 1 \text{ bar}$ . Dans la machine de Linde, on fait subir au diazote une détente isenthalpique (Joule-Kelvin) de l'état initial  $E_1 (P_1, T_1 = 290 \text{ K}; h_1)$  correspondant à du diazote gazeux comprimé vers l'état final  $E_2 (P_2 = 1 \text{ bar}, T_2 = 78 \text{ K}; h_2)$  correspondant à un système diphasé liquide-vapeur. Il ne reste plus ensuite qu'à séparer le liquide de la vapeur.

On adopte l'expression approchée de l'enthalpie massique  $h$  du diazote gazeux en fonction de la pression  $P$  (en bar) et de la température  $T$  (en Kelvin) :  $h = c_p T + b.P + k$  avec  $c_p = 1,04 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ;  $b = -1,51 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{bar}^{-1}$  et  $k = 150 \text{ kJ.kg}^{-1}$

On donne les enthalpies massiques  $h_{2L} = 34 \text{ kJ.kg}^{-1}$  du diazote liquide et  $h_{2V} = 230 \text{ kJ.kg}^{-1}$  du diazote gazeux à la température  $T_2 = 78 \text{ K}$  et à la pression de vapeur saturante  $P_2 = f(T_2) = 1 \text{ bar}$ .

Déterminez le titre massique en vapeur  $x_v$  dans le mélange diphasé à la sortie du détendeur pour  $P_1 = 200 \text{ bars}$

Quelques résultats:

Exercice 1:  $\Delta U = Q = 20,9 \text{ kJ}$

Exercice 2: 1)

transformation A $\rightarrow$ B  $T_B = 20^\circ\text{C}$ ,  $P_B = 10,5 \text{ bar}$ ,  $V_B = 1 \text{ L}$ ,  $\Delta U_{AB} = 0$ ,  $W_{\text{fpAB}} = 2,4 \text{ kJ} = -Q_{AB}$

transformation B $\rightarrow$ C  $T_C = 151,8^\circ\text{C}$ ,  $P_C = P_A$ ,  $V_C = 5,17 \text{ L}$ ,  $\Delta U_{BC} = W_{\text{fpBC}} = -1,27 \text{ kJ}$ ,  $Q_{BC} = 0$

transformation C $\rightarrow$ A  $T_C = T_A$ ,  $P_C = P_A$ ,  $V_C = V_A$ ,  $\Delta U_{CA} = 1,27 \text{ kJ}$ ,  $W_{\text{fpCA}} = 5,1 \cdot 10^2 \text{ J}$ ,  $Q_{CA} = \Delta U_{CA} - W_{\text{fpCA}}$

$$2) \Delta u_{\text{tot}} = \Sigma W + \Sigma Q = 0$$

Exercice 3: 2)  $T'_1 = \gamma T_0$ ;  $\Delta U = \frac{P_0 V_1}{\gamma}$

Exercice 4: 1b)  $T_f = 33,2^\circ\text{C}$ ; 1c)  $\mu = 27,5 \text{ g}$ ; 2c)  $c = 0,46 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$$3) T = \frac{1}{a} \left[ (1 + a T_0) e^{\frac{a R_0 I^2 t}{(u + m_0) c_0}} - 1 \right]$$

Exercice 5: 1)  $V_A = \frac{2 V_0 T_1}{T_1 + T_0}$ ,  $V_B = \frac{2 V_0 T_0}{T_1 + T_0}$ ;  $P_f = \frac{R(T_1 + T_0)}{2 V_0}$  3)  $W_{A \rightarrow B} =$

$$-RT_0 \ln \frac{2T_0}{T_1 + T_0}$$

Exercice 7 :  $x_v = 0,59$