DEVOIR À LA MAISON 15

Expressions des variations d'entropie valables pour tout le sujet :

- Variation d'entropie pour une masse m de phase condensée de capacité thermique massique c lorsque la température passe de T_I à T_F : $\Delta S_{IF} = mc\ln\left(\frac{T_F}{T_I}\right)$
- Variation d'entropie pour une masse m de gaz parfait passant de l'état (T_I, p_I, V_I) à l'état (T_F, p_F, V_F) :

$$\Delta S_{IF} = mc_V\ln\left(\frac{T_F}{T_I}\right) + nR\ln\left(\frac{V_F}{V_I}\right) = mc_P\ln\left(\frac{T_F}{T_I}\right) - nR\ln\left(\frac{p_F}{p_I}\right)$$
$$= mc_V\ln\left(\frac{p_F}{p_I}\right) + mc_P\ln\left(\frac{V_F}{V_I}\right)$$

avec $mc_V = C_V$ et $mc_P = C_P$ les capacités thermiques à volume constant et à pression constante.

Exercice 1 – Mélange d'eau sous trois phases

Dans une enceinte parfaitement calorifugée, on introduit :

- un glaçon de masse $m_1 = 120\ \text{g}$ initialement à la température $\theta_1 = 0\ °\text{C}$
- de l'eau liquide de masse $m_2 = 260\ \text{g}$ initialement à la température $\theta_2 = 20\ °\text{C}$
- de la vapeur d'eau de masse $m_3 = 100\ \text{g}$ initialement à la température $\theta_3 = 100\ °\text{C}$.

Le mélange est à la pression atmosphérique $P_{atm} = 1\ \text{bar}$.

Données :

Enthalpie massique de vaporisation de l'eau à 100 °C : $\Delta_{vap}h = 2\ 250\ \text{kJ.kg}^{-1}$

Enthalpie massique de fusion de la glace à 0 °C : $\Delta_{fus}h = 340\ \text{kJ.kg}^{-1}$

Capacité thermique massique de l'eau liquide (indépendante de la température) : $c_e = 4{,}18\ \text{kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$

1. Déterminer les caractéristiques (température et composition) de l'état d'équilibre final, qui est un équilibre diphasé liquide-vapeur.
2. Déterminer la variation d'entropie, l'entropie échangée et l'entropie créée de l'ensemble. Effectuer les applications numériques. Commenter.

Exercice 2 – États de l'éther

On conserve dans une pièce à 18,0°C un flacon contenant $V_0 = 50\text{ mL}$ d'éther éthylique ($CH_3 - CH_2 - O - CH_2 - CH_3$ appelé simplement éther), liquide à cette température, et à la pression de vapeur saturante $P_{sat} = 0{,}544\text{ bar}$. On suppose que le flacon ne contient que de l'éther. On donne les caractéristiques physiques suivantes pour l'éther :

T (°C)	P_{sat} (bar)	$\rho_{liquide}$ (kg.L^{-1})
18,0	0,544	0,716
49,0	1,65	0,679

La pression du point critique est 36,4 bar et sa température 194°C.

1. Déterminer la masse et la quantité de matière d'éther contenu dans ce flacon à 18,0°C. On donne la masse molaire de l'éther $M = 74{,}1\text{ g.mol}^{-1}$.
2. Déterminer les volumes massiques du liquide saturant et de la vapeur saturante à cette température. On suppose l'éther se comportant comme un gaz parfait à l'état de vapeur et on donne $R = 8{,}31\text{ J.K}^{-1}\text{.mol}^{-1}$ la constante des gaz parfaits.
3. Dans le diagramme de Clapeyron massique, représenter trois isothermes (à 18,0°C, à 49,0°C et à 194°C). Indiquer les différents états physiques de l'éther. Représenter les courbes de rosée et d'ébullition.
4. Quel est l'intervalle de valeurs possibles pour le volume du flacon permettant d'avoir un mélange liquide-vapeur d'éther à 18,0°C ?
5. Pour un volume $V = 5{,}50\text{ L}$, déterminer le volume massique. Déduire la fraction massique de la vapeur ainsi que la composition du système.
6. Quel est l'état du système si on augmente la température jusqu'à 49°C ? Déterminer la fraction de vapeur si c'est un mélange liquide – vapeur ou la pression si c'est un système gazeux.
7. Reprendre les questions 5 et 6 pour un volume $V' = 10{,}0\text{ L}$.

Exercice 3 – Cycle de Lenoir

Le cycle de Lenoir a permis de réaliser le premier moteur à combustion interne à deux temps : les deux temps correspondent à un aller-retour du piston.

Le fonctionnement du moteur est schématisé par le diagramme de Watt (P,V) où P est la pression du gaz contenu dans le volume V de l'enceinte.

Les étapes du cycle sont les suivantes :

1er temps :

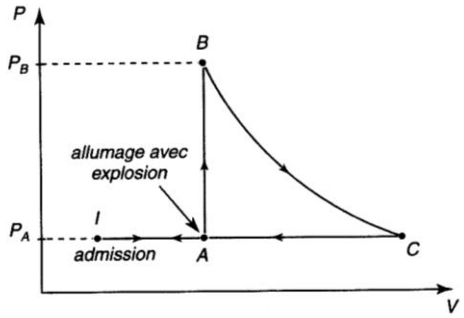
❖ **I→A** : entrée du mélange air – combustible avec explosion en A

2ème temps :

❖ **A→B** : compression isochore due à l'explosion du mélange

❖ **B→C** : détente adiabatique réversible

❖ **C→A→I** : échappement isobare



Tout se passe comme si le système fermé constitué de $n=1$ mol d'air décrivait le cycle ABCA. L'air se comporte comme un gaz parfait de coefficient $\gamma=\dfrac{C_P}{C_V}=1{,}4$.

La capacité thermique à volume constant est $C_V=\dfrac{nR}{\gamma-1}$, avec $R=8{,}31\ \text{J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ la constante des gaz parfaits.

1. Exprimer les transferts de chaleur $Q_{A\to B}$, $Q_{B\to C}$ et $Q_{C\to A}$ pour chacune des trois transformations, en fonction des températures T_A, T_B, T_C, de n et γ.
2. Définir le rendement η de ce moteur.
3. Exprimer le rendement η en fonction des quantités de chaleur, puis en fonction des températures T_A, T_B, T_C et de γ.
4. Déterminer l'expression du rendement η en fonction de γ et du rapport de compression $a=\dfrac{P_B}{P_A}$. (Indication : exprimer d'abord T_B et T_C en fonction de T_A, a et γ).
5. Calculer η pour $a=5{,}0$.
6. Déterminer, en fonction de a, n et γ, l'expression de la variation d'entropie ΔS pour chacune des trois transformations. En déduire la variation d'entropie sur tout le cycle. Commenter.
7. Déterminer l'entropie créée sur tout le cycle. La calculer et conclure sur la réversibilité du cycle. Préciser les causes d'irréversibilité le cas échéant.