UE5 : THERMODYNAMIQUE

Examen de février 2004 : correction de la question de cours

1.1. **Chaleur latente de vaporisation**
Chaleur qu'il faut fournir (à T et p constantes) pour vaporiser une quantité donnée (mole, unité de masse...) de liquide. (**1 point**)

1.2. **Conditions d'équilibre**

$$\begin{aligned} p_\ell &= p_v \equiv p \quad \text{égalité des pressions} \\ T_\ell &= T_v \equiv T \quad \text{égalité des températures} \\ \mu_\ell &= \mu_v \quad \text{égalité des potentiels chimiques} \end{aligned}$$

1 point, 0,5 pt si 2 sur 3, 0,25 pt si une sur trois

1.3. **Courbe d'équilibre**
L'équation $\mu_\ell(T,p) = \mu_v(T,p)$ impose une relation entre T et p. La fonction $p(T)$ est appelée « courbe d'équilibre ». **0,5 point**
Relation de Clapeyron
μ est l'enthalpie libre par mole, donc :

$$d\mu = -s\,dT + v\,dp$$

où s entropie molaire et v volume molaire. Comme $d\mu_\ell = d\mu_v$ sur la courbe d'équilibre on a aussi :

$$(s_v - s_\ell)\,dT = (v_v - v_\ell)\,dp$$

ce qui donne une relation entre dT et dP sur la courbe d'équilibre. On peut relier la différence d'entropie à la chaleur latente molaire. Supposons que l'on vaporise de manière réversible dn moles de liquide. La chaleur à fournir est $\delta Q = T\,dS = L\,dn$, et la variation d'entropie est donnée par $ds = dn(s_v - s_\ell)$. On en déduit $s_v - s_\ell = L/T$ et finalement :

$$L = T(v_v - v_\ell)\frac{dp}{dT}$$

Relation de Clapeyron. **1,5 pour l'ensemble. 0,5 pour formule sans démonstration**

1.4. **Extrémités de la courbe d'équilibre**
Le point bas est le point triple où se rencontrent les trois courbes liquide–vapeur, solide–liquide et solide–vapeur. **0,5 points**
Le point haut est le point critique, où la chaleur latente s'annule et où la distinction liquide gaz disparaît. **0,5 points**

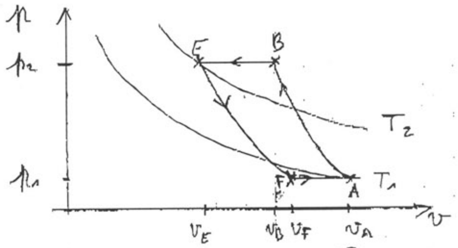
Examen de thermo

/5 2- Etude thermodynamique de la tension d'un fil d'acier

2.1 $dU = \delta W + \delta Q = f\, dl + T\, dS$	0,5
2.2 $G' = U - fL - TS \Rightarrow dG' = -L\,df - S\,dT$	0,5
$\hookrightarrow \left.\frac{\partial S}{\partial f}\right\vert_T = \left.\frac{\partial L}{\partial T}\right\vert_f$	0,5
2.3 $\delta Q = T\,dS$ à $T = C^{te} \Rightarrow$ il faut connaître $\left.\frac{\partial S}{\partial f}\right\vert_T$	0,5
or $\left.\frac{\partial S}{\partial f}\right\vert_T = \left.\frac{\partial L}{\partial T}\right\vert_f = L\lambda$	
$\hookrightarrow Q = \int T\,dS = TL\lambda \int df = TL\lambda\Delta f = 0{,}36\ J$	0,5 + 0,5
2.4 $dS = \left.\frac{\partial S}{\partial T}\right\vert_f dT + \left.\frac{\partial S}{\partial f}\right\vert_T df = \frac{mc}{T}\,dT + L\lambda\, df$	0,5
$dS = 0 \Rightarrow \cancel{mc}\frac{dT}{T} = -L\lambda\, df$	0,5
$\ln\frac{T}{T_0} = -\frac{L\lambda}{mc}\Delta f^{F}$	
$T = T_0\, e^{-\frac{L\lambda}{mc}F}$	0,5
A.N. $\Delta T = -0{,}11°$	0,5

/10 3. Climatisation d'un local

3.1 $\begin{cases} C_p - C_v = nR \text{ avec } n : \text{nbr de molécules dans } 1\ kg = \frac{1}{M} \\ \frac{C_p}{C_v} = \gamma \end{cases} \longrightarrow c_p = \frac{\gamma}{\gamma-1}\frac{R}{M}$	1
A.N. $C_p = 5{,}194\ kJ\cdot K^{-1}\,kg^{-1}$	
3.2 × $p_A V_A^{\gamma} = p_B V_B^{\gamma} \Rightarrow p_1 \frac{(nRT_1)^{\gamma}}{p_1^{\gamma}} = p_2\frac{(nRT_3)^{\gamma}}{p_2^{\gamma}}$	
$\hookrightarrow T_3 = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\gamma-1/\gamma} . T_1 = \left(\frac{3}{1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} . T_1$	1
A.N. $T_3 = 455\,K$	0,5
× De même : $T_4 = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\gamma-1/\gamma} . T_2 = \left(\frac{1}{3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} T_2$	0,5
A.N. $T_4 = 202\,K$	0,5
3.3 $p_A v_A = \frac{1}{M} R T_A \Rightarrow v_A = \frac{RT_A}{Mp_A} = \frac{RT_1}{Mp_1} = 6{,}08\ m^3\,kg^{-1}$	0,25
de même : $v_B = \frac{RT_B}{Mp_B} = \frac{RT_3}{Mp_2} = 3{,}15\ m^3\,kg^{-1}$	0,25
$v_E = \frac{RT_E}{Mp_E} = \frac{RT_2}{Mp_2} = 2{,}17\ m^3\,kg^{-1}$	0,25
$v_F = \frac{RT_F}{Mp_F} = \frac{RT_4}{Mp_1} = 4{,}20\ m^3\,kg^{-1}$	0,25

3.4	 (2 isobare + 2 adiabatiques) + 2 isotherme + sens	1,5
	sens ↻ : $W > 0$	0,5
3.5	$Q_2 = m\, c_p\, \Delta T = 1 \times c_p \times (T_2 - T_3) = -737\ kJ\ kg^{-1}$	0,25 + 0,25
	$Q_1 = m\, c_p\, \Delta T = 1 \times c_p \times (T_1 - T_4) = +472\ kJ\ kg^{-1}$	0,25 + 0,25
	↳ $\Delta U = 0 \Rightarrow W = -Q_1 - Q_2 = +265\ kJ\ kg^{-1}$	0,25 + 0,25
3.6	$\eta = \frac{\text{service rendu}}{\text{investissement}} = \frac{\lvert Q_1 \rvert}{\lvert W \rvert} = 1{,}78$	0,5 + 0,5
3.7	$P_{th} = 3\ kW = 3000\ J.s^{-1} = Q_{\cancel{1}}$ (chaleur à extraire de la pièce) ↳ il faut $\frac{3000}{472000} = 6{,}4\ g\ s^{-1}$	0,5
3.8	$P_{méca} = \frac{3000}{1{,}78} = 1685\ \cancel{k}W$	0,5