Université Hassan II de Casablanca — Année Universitaire : 2015/2016

Faculté des Sciences –Ain Chock — Filière SMP-S3

Examen de thermodynamique II

Exercice I

Un cylindre fermé par un piston mobile contient une masse $m = 0.05$ kg d'un fluide initialement à la pression $P_1 = 1$ MPa et à la température $T_1 = 300°C$. On libère le piston et le fluide subit une détente jusqu'à l'état final $P_2 = 200$ kPa et $T_2 = 150°C$. Au cours de la détente le fluide est en relation avec le milieu ambiant caractérisé par la pression constante $P_0 = 100$ kPa et la température constante $T_0 = 25°C$ et lui cède une quantité de chaleur de 2 kJ. $Q_{cédé} = 2$ kJ

Les propriétés thermodynamiques (énergie interne massique, volume massique, entropie massique) relatives aux différents états sont regroupées dans le tableau suivant

	P	T(°C)	u(kJ/kg)	v(m³/kg)	s(kJ/kg.K)	h(kJ/kg)
E init	1MPa	300	2793,7	0,25799	7,1246	?
E final	200kPa	150	2577,1	0,95986	7,2810	?
	100kPa	25	104,83	0,00103	0,3672	?

1) Compléter le tableau en calculant les valeurs des enthalpies massiques

2)a) Calculer la variation d'énergie interne massique Δu entre l'état initial et l'état final puis la variation ΔU pour la masse m et en déduire le travail W.

b) Calculer le travail des forces de pression W_{P_0} puis le travail fourni utile $W_{f,u}$

3) Calculer la variation d'entropie massique Δs entre l'état initial et l'état final et la variation d'entropie ΔS pour la masse m puis calculer l'entropie échangée Se et en déduire l'entropie créée Si. Conclure.

4) Calculer les variations ΔF, ΔG, ΔF^* et ΔG^*. Parmi les fonctions F, G, F* et G* quelle est celle qui joue le rôle de potentiel thermodynamique dans le cas la transformation subie par le fluide ici? Justifier.

5) Déterminer le travail fourni $(W_f)_{max}$ et le travail fourni utile$(W_{f,u})_{max}$ maximums.

6) Calculer les exergies Ex_1 et Ex_2 du fluide à l'état initial et à l'état final. Ecrire l'équation du bilan exergétique et en déduire le travail fourni utile maximum. Quelle est l'exergie détruite au cours de la détente de la masse m de ce fluide. A quoi est elle due ? Justifier en comparant à l'entropie créée.

Exercice II

De l'argon assimilé à un gaz parfait de capacité calorifique massique $C_p = 0.5203$ kJ/kg·°C et de constante massique $r = 0.2081$ kJ/kg.K pénètre dans une turbine calorifugée avec une vitesse $C_1 = 80$m/s sous une pression $P_1 = 900$ kPa et une température $T_1 = 450°C$. La section d'entrée de la turbine est $A_1 = 50cm^2$. A la sortie de la turbine il est dans l'état $P_2 = 150$ kPa et T_2 et sa vitesse est $C_2 = 150$ m/s. la puissance fournie utile par l'argon est $P_{f,u} = 250$kw. Le régime d'écoulement est stationnaire et les variations de l'énergie potentielle sont négligeables.

1) Calculer le volume massique de l'argon à l'entrée de la turbine et en déduire le débit massique q_m.

2) Calculer à l'aide du bilan énergétique, la température T_2 et la section de sortie A_2.

3) a)Calculer la variation d'entropie massique entre la sortie et l'entée de la turbine

b) Déterminer l'entropie créée par unité de temps $\frac{\delta Si}{dt}$. La transformation est elle réversible ou irréversible ?

4) Quelle serait la température T'_2 à la sortie de la turbine si la transformation était réversible ?

5) Ecrire l'équation générale du bilan exergétique et en déduire la puissance fournie utile maximale $(P_{f,u})_{max}$, le milieu ambiant étant caractérisé par la température $T_0 = 290°C$ et la pression $P_0 = 100kPa$. En comparant $P_{f,u}$ et $(P_{f,u})_{max}$ calculer la puissance exergétique détruite.

Thermo II (S3) 2015/2016

Exo I

1) $h = u + PV \Rightarrow h_2 = u_2 + P_2 V_2 = 2793{,}7 + 1000 \cdot 0{,}25799 = \cancel{260\,793{,}7}$

$\Rightarrow h_2 = 2793{,}7 + 257{,}990 = \boxed{3051{,}69 \text{ kJ/kg}}$

$\boxed{h_1 = 2769{,}072 \text{ kJ/kg}}$ kJ/kg , $\boxed{h_3 = 104{,}933 \text{ kJ/kg}}$

2) a) $\Delta u = u_f - u_1 = 2577{,}1 - 2793{,}7 = \overset{-216{,}6}{\cancel{-162{,}6}} \text{ kJ/kg} \Rightarrow \Delta U = \Delta u \cdot m = \boxed{-8{,}13 \text{ kJ}}$

$W = \Delta U - Q = -8{,}13 - 2 = \boxed{-10{,}13 \text{ kJ}}$

b) $W_{P_0} = -P_0 (V_0 - V) = -100 \cdot (0{,}00103 - 0{,}95986) = 95{,}883 \text{ kJ/kg} \cdot m = \boxed{4{,}79415 \text{ kJ}}$

3) $W_{f,u} = W - W_{P_0} = \boxed{-14{,}92415 \text{ kJ}}$

4) $\Delta F = \Delta U - \Delta T S' = -8{,}13 - [(573 \times 7{,}2246 - 423 \times 7{,}281) \cdot m]$

$\Delta G =$

$\Delta F^* = \Delta U - T_0 \Delta S'$; $\Delta G^* = \Delta U + P_0 \Delta V + T_0 \Delta S'$

3) $\Delta s = s_f - s_1 = 0{,}1564 \text{ kJ/kg.K} \Rightarrow \Delta S' = \Delta s \cdot m = \boxed{7{,}82 \cdot 10^{-3} \text{ kJ/K}}$

$S_e = \frac{Q_e}{T_0} = \frac{Q_e}{T_0} = 0{,}08 \text{ kJ/K} \Rightarrow S_i = \Delta S' - S_e = +0{,}07218 \neq 0$

$S_e = \frac{Q_e}{T_0} = \frac{2}{\ldots} = 6{,}1114 \cdot 10^{-3} \text{ kJ/K}$

$\Rightarrow$ la réaction est irréversible.

5) $(W_f)_{max} = -P_0 \Delta V - (W_{f,u})_{max}$ et $(W_{f,u})_{max} = -\Delta G^* = -\Delta U - P_0 \Delta V + T_0 \Delta S'$

6) $E_{x_1} = (H_1 - H_0) - T_0 (S_1 - S_0)$ et $E_{x_2} = (H_2 - H_0) - T_0 (S_2 - S_0)$

$\Delta E_x = E_{x_2} - E_{x_1} = -(W_{f,u})_{max}$

$\boxed{P_{Ex} = P_{f_{umax}} - P_f}$

$P_{ex} = -T_0 \frac{\delta_i S'}{dt}$

EX II   G. Parfait + $\frac{c_p}{r}$ + $\begin{pmatrix} C_2 \\ P_2 \\ T_1 \\ A_1 \\ (B_{f}.a) \end{pmatrix}$ + régime adiabatique

Turbine

1) ⊙ $PV = nRT \Rightarrow V = \frac{nRT}{P} \Rightarrow v_1 = \frac{V}{m} = \frac{nRT}{mP} = \frac{RT}{MP} = \frac{rT_1}{P_1} =$ m^3/kg

⊙ $q_m = \frac{A_1 C_1}{v_1} =$ kg/s

2) ⊙ B.E $\Rightarrow$ $\frac{dE}{dt} = \frac{\delta W_m}{dt} - P_0\frac{dV}{dt} + \frac{\delta Q}{dt} + \left[(e_c + e_p + h)\frac{\delta m}{dt}\right]_s^e$

$\underbrace{\frac{dE}{dt}}_{\text{stationnaire}}$ $\underbrace{}_{\text{régime calorifugé}}$

$\Rightarrow 0 = P_{tu} - 0 + 0 + \left[\left(\frac{C_1^2}{2} - \frac{C_2^2}{2}\right) + (h_s - h_e)\right] q_m$

$\Rightarrow \frac{1}{q_m}\left[P_{tu} - \left(\frac{C_2^2 - C_1^2}{2}\right)\right] = [h_s - h_e] = \Delta h = c_p(T_s - T_e) = c_p(T_2 - T_1)$

$\Rightarrow \boxed{T_2 = ?\ K}$

$\Rightarrow$ ~~$h_s = \Delta h + h_e$~~

$\Rightarrow c_p T_2$

⊙ $A_2 = \frac{v_2 q_m}{C_2}$ avec $v_2 = \frac{rT_2}{P_2}$

3) a) $\Delta s = \int_e^s \frac{\delta Q}{T} = c_p \int_e^s \frac{dT}{T} - r\int_e^s \frac{dP}{P} = $

b) $\frac{dS}{dt} = \frac{1}{T_0}\frac{\delta Q}{dt} + \frac{\delta_i S}{dt} + \left[s\frac{\delta m}{dt}\right]_s^e \Rightarrow 0 = 0 + \frac{\delta_i S}{dt} + (s)_s^e\, q_m$

$\Rightarrow \frac{\delta_i S}{dt} = [s]_e^s q_m = \Delta s\, q_m > 0$ "irréversible"

4) réversible + G.P + adiabatique $\Rightarrow P_1 T_1^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} = P_2 T_2'^{\frac{\gamma}{1-\gamma}}$

$\Rightarrow \boxed{T_2' = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} T_1}$

5) $dE = \delta W_u - P_0\, dV + \delta Q + \delta m\,[h + e_c]_s^e$

$\Rightarrow dE = \delta W_u - P_0\, dV + T_0\, dS - T_0\,\delta_i S - T_0\,\delta m\,[s]_s^e + \delta m\,[h + e_c]_s^e$

$\Rightarrow \delta W_u = d[-E - P_0V - T_0S] - T_0\,\delta_i S + \delta m\,[h + e_c - T_0 s]_s^e$

$\Rightarrow \delta W_{tu} = \underset{<0}{-dG_u} + \delta m\,[h + e_c - T_0 s]_s^e - T_0\,\delta_i S$

$\Rightarrow$

$0 = -P_{tu} + q_m[h + e_c - T_0 s]_s^e - T_0\frac{\delta_i S}{dt}$

$P_{tu} = \underbrace{q_m[h + e_c - T_0 s]_s^e}_{P_{tu\,max}\ \text{réversible}} - T_0\frac{\delta_i S}{dt}$ et