

Examen de la session principale

Matière : Thermodynamique pour l'Ingénieur

Documents Autorisés : NON

Classes : 1TA

Enseignant : S.KORDOGLI & D. LOUNISSI

Durée : 1h30

Nombre de pages : 3 pages

Date : 07/06/2021

N.B : L'épreuve comporte trois pages, deux pour l'énoncé et 1 page pour l'annexe 1.

Exercice 1 : (12 points)

Une turbine à vapeur sert à produire de l'électricité à partir de la détente de la vapeur d'eau sur ses pales comme indiqué sur la **figure 1**. La vapeur d'eau entre dans la turbine à **60 bars** et **450 °C**. A la sortie, l'eau sort à une pression de **20 kPa** à un état bi-phasique (saturé). Le travail fourni par la turbine durant ce processus est de **950 kJ/kg**.

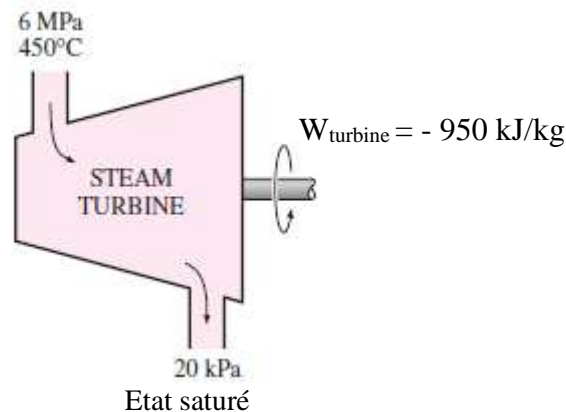


Figure 1

Les propriétés thermodynamiques de la vapeur d'eau sont fournies dans **l'annexe 1** de la **page 3** de ce document.

- 1) En appliquant le premier principe de la thermodynamique à ce système et en supposant que la turbine est adiabatique, déterminer la fraction de vapeur x_{vap} à la sortie de la turbine. (On négligera la variation de l'énergie potentielle et cinétique).
- 2) Déterminer alors la variation d'entropie durant cette détente. Commentez le résultat.
- 3) Combien serait le débit de vapeur en **kg/s** si la puissance de la turbine était de **4MW** ?
- 4) Combien serait le travail $W'_{turbine}$ fourni en **kJ/kg** si la détente dans la turbine était isentropique ? comparer cette valeur à la valeur réelle $W_{turbine}$ et commenter ?

Exercice 2 : (8points)

Un œuf ordinaire peut être assimilé à une sphère de diamètre approximatif $D = 5.5 \text{ cm}$. L'œuf est initialement à une température uniforme de 8°C et est plongé dans un récipient d'eau bouillante à 97°C .



Figure 2

On donne les propriétés de l'œuf : $\rho = 1020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$; $c_p = 3.32 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}}$

- 1) Déterminer la chaleur absorbée par l'œuf lorsque sa température atteint 70°C .
- 2) En admettant que la variation d'entropie de l'œuf peut être exprimée par :

$$\Delta S = S_2 - S_1 = m \cdot c_p \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$$

Déterminer la variation d'entropie de l'univers (œuf + l'eau bouillante). Commenter le résultat.

Bon travail

Annexe 1 : Propriétés thermodynamiques de l'eau

Tableau 1 : Vapeur d'eau surchauffée à P =60 bars

	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
1	100,00	60,000	961,10	423,60	1,3026
2	150,00	60,000	920,11	635,61	1,8357
3	200,00	60,000	868,00	854,09	2,3235
4	250,00	60,000	801,23	1085,7	2,7886
5	275,58	60,000	758,00	1213,9	3,0278
6	275,58	60,000	30,818	2784,6	5,8901
7	300,00	60,000	27,632	2885,5	6,0703
8	350,00	60,000	23,668	3043,9	6,3357
9	400,00	60,000	21,088	3178,2	6,5432
10	450,00	60,000	19,170	3302,9	6,7219
11	500,00	60,000	17,646	3423,1	6,8826
12	550,00	60,000	16,388	3541,3	7,0307
13	600,00	60,000	15,322	3658,7	7,1693

Tableau 2 : Etat saturé de l'eau

	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Liquid Density (kg/m³)	Vapor Density (kg/m³)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
1	45,806	0,10000	989,83	0,068166	191,81	2583,9	0,64920	8,1488
2	60,058	0,20000	983,13	0,13075	251,42	2608,9	0,83202	7,9072
3	69,095	0,30000	978,25	0,19126	289,27	2624,5	0,94407	7,7675
4	75,857	0,40000	974,30	0,25044	317,62	2636,1	1,0261	7,6690
5	81,317	0,50000	970,94	0,30864	340,54	2645,2	1,0912	7,5930
6	85,926	0,60000	967,99	0,36607	359,91	2652,9	1,1454	7,5311
7	89,932	0,70000	965,34	0,42287	376,75	2659,4	1,1921	7,4790
8	93,486	0,80000	962,93	0,47914	391,71	2665,2	1,2330	7,4339
9	96,687	0,90000	960,70	0,53494	405,20	2670,3	1,2696	7,3943
10	99,606	1,0000	958,63	0,59034	417,50	2674,9	1,3028	7,3588

Correct: Examen principal
Thermodynamique 2020-2021

Ex 1:

1) Principe premier & sys ouvert $\Delta h = q + w$

$$\Rightarrow w_{\text{Turbine}} = h_2 - h_1$$

$$h_1 (60 \text{ bar}, 250^\circ \text{C}) = 3302,9 \text{ kJ/kg}$$

$$\Rightarrow h_2 = 3302,9 - 950 = 2352,9 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{à } 0,2 \text{ bar (20 kPa) on a : } h_{\text{liq}} = 251,42 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{\text{vap}} = 2608,9 \text{ kJ/kg}$$

$$x_{\text{vap}} = \frac{h_2 - h_{\text{liq}}}{h_{\text{vap}} - h_{\text{liq}}} = 84,14 \%$$

$$2) \Delta S = S_2 - S_1$$

$$S_1 = 6,7219 \text{ kJ/kgK}$$

$$s_2 = x_{\text{vap}} \cdot s_{\text{vap}} + x_{\text{liq}} \cdot s_{\text{liq}} \text{ à } (20 \text{ kPa})$$

$$s_2 = 7,1388 \text{ kJ/kgK}$$

$$\Delta S = 0,4169 \text{ kJ/kgK}$$

(1)

L'entropie a augmenté durant le processus adiabatique
 ce qui indique une création d'entropie
 \Rightarrow détente irréversible

$$3) \dot{W}_{\text{turbine}} = 4 \text{ MW} = \dot{m}_{\text{eau}} \times w_{\text{turbine}}$$

$$\Rightarrow \dot{m}_{\text{eau}} = \frac{4 \text{ MW}}{950 \text{ kJ/kg}} = 4,21 \text{ kg/s}$$

$$4) \text{ Si } \Delta S = 0$$

$$\Rightarrow s_2 = s_1 = 6,7219$$

$$\text{à } 20 \text{ kPa (2 bar)} \quad x_{\text{vapeur}} = \frac{s_2 - s_{\text{liq}}}{s_{\text{vap}} - s_{\text{liq}}} = 83,24\%$$

$$\Rightarrow h_2 = 2213,95 \text{ kJ/kg}$$

$$\Rightarrow \Delta h = -1088,94 \text{ kJ/kg} = w'_{\text{turbine}}$$

$$w'_{\text{th}} > w_{\text{turbine}}$$

le travail fourni lors d'un trans. isentropique (réversible)
 est supérieur à celui d'un trans. réel.
 \Rightarrow pertes par irréversibilité

(2)

Ex 2

1) Q_{enf} : système fermé ; chauffage de $8^{\circ}\text{C} \rightarrow 70^{\circ}\text{C}$

$$\Delta U_{\text{enf}} = Q_{\text{enf}} = m c_p \Delta T \quad (\text{solide}).$$

$$\Rightarrow Q_{\text{enf}} = \rho \cdot \left(\frac{4}{3} \pi r^3\right) \cdot c_p (70 - 8)$$

$$\boxed{Q_{\text{enf}} = 10.01 \text{ kJ}}$$

$$2) \quad \Delta S_{\text{enf}} = m c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = 0.0322 \text{ kJ/K}$$

$$\Delta S_{\text{eau}} = \frac{-Q_{\text{enf}}}{T_{\text{eau}}} \approx -0.027 \text{ kJ/K}$$

$$\Delta S_{\text{univers}} = \Delta S_{\text{enf}} + \Delta S_{\text{eau}} \approx 5.17 \text{ J/K}$$

$\Delta S_{\text{univers}} > 0 \Rightarrow$ processus irréversible
création d'entropie

(3)