

Contact : [a.touahria@centre-univ-mila.dz](mailto:a.touahria@centre-univ-mila.dz)

Module : Thermodynamique appliquée

Niveau : Master 1 électromécanique

## TD N° 5

### Exercice 01 :

Considérons un **cycle de Rankine** fonctionnant entre 40 °C et 300 °C. Pour obtenir les points du cycle, on peut utiliser soit un diagramme, soit des tables, soit un logiciel. (Il faut pouvoir utiliser l'information sous l'une de ces formes). Dans cet exemple, nous utilisons un logiciel. Les points de la figure 1.1 correspondent aux valeurs du tableau 1.1. On donne :

Tableau 1.1 – Points du cycle de Rankine calculés à partir d'un logiciel.

Point	T (°C)	P (bar)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)	v (m <sup>3</sup> /kg)	h <sub>1-v</sub> (kJ/kg)
1	40	0,0738	167,46	0,57	0,00101	2 406,48
3	300	85,81	1 344,63	3,25	0,00140	1 403,98
4	300	85,81	2 748,62	5,70	0,022	
v	40	0,0738	2 573,94	8,25	19,52	

En analysant les phénomènes selon le trajet du cycle répondre aux questions.

1°/ Calculer les caractéristiques du point 2. On utilise la relation de Gibbs pour le système fermé constitué de la masse unitaire d'eau liquide qui est comprimée :  $dh = Tds + vdp$ .

2°/ Calculer la température du point 2, on utilise la relation :

$$DT = T \beta v' DP / C_{pl}$$

Pour l'eau liquide à 40 °C,  $\beta = 3,9 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ ,  $C_{pl} = 4 175 \text{ J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$  et  $v' = 0,00101 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ .

3°/ Pour le point 5, calculer le titre en vapeur x, connaissant le titre en vapeur, on en déduit l'enthalpie du point 5

4°/ Connaissant les propriétés des points du cycle, il est maintenant possible d'en calculer les bilans sur les différents composants ainsi que le rendement.

### Exercice 02 :

Considérons un **cycle de Hirn** fonctionnant entre 40 °C et 300 °C pour le condenseur et le générateur de vapeur et à 500 °C pour la surchauffe. Les points (1, 2, 3, 4 et v) du cycle sont identiques à ceux calculés pour le cycle de Rankine (de l'Exercice 02).

il faut maintenant calculer les points 5 et 6. Pour le point 6, comme pour le point 5 dans le cycle de Rankine, on peut calculer ses coordonnées, à partir de la

Contact : [a.touahria@centre-univ-mila.dz](mailto:a.touahria@centre-univ-mila.dz)

Module : Thermodynamique appliquée

Niveau : Master 1 électromécanique

règle des leviers., sachant que l'entropie du point 6 est égale à celle du point 5 :

Tableau 2.1 – Points du cycle de **Hirn** calculés à partir d'un logiciel.

Point	T (°C)	P (bar)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)	v (m <sup>3</sup> /kg)	h <sub>l-v</sub> (kJ/kg)
1	40	0,0738	167,46	0,57	0,00101	2 406,48
2		85,81	167,12	0,57		
3	300	85,81	1 344,63	3,25	0,00140	1 403,98
4	300	85,81	2 748,62	5,70	0,022	
V	40	0,0738	2 573,94	8,25	19,52	
5	500	85,81 3	390,86	6,68	0,03871	
6	40	0,0738 1	967,50	6,68		

En analysant les phénomènes selon le trajet du cycle répondre aux questions.

1°/ Calculer les caractéristiques des points 5 et 6. On commence par calculer le titre en vapeur  $x$ , puis on en déduit l'enthalpie du point 6.

2°/ Calculer Le rendement  $\eta$ . Calculer le gain par rapport au cycle de Rankine.

### **Problème 03 :**

Le **cycle de Rankine** est le cycle de base des centrales nucléaires. La pompe d'alimentation porte l'eau liquide saturante (état 0) de la basse pression  $p_0$  du condenseur à la pression  $p_1$  du générateur de vapeur (GV) de façon adiabatique réversible (état 1). L'eau liquide comprimée entre ensuite dans le générateur de vapeur, isobare, où elle est chauffée jusqu'à la température  $T_2$  du changement d'état (état 1'), puis totalement vaporisée (état 2). La vapeur saturante sèche produite subit ensuite une détente adiabatique réversible (2-3) dans une turbine. Le fluide pénètre ensuite dans le condenseur isobare pour y être totalement condensé (état 0) à la température  $T_1$ . On appelle  $T_{cr}$  la température critique de l'eau. On négligera le travail consommé par la pompe devant les autres termes énergétiques de l'installation. On admet que  $h_1 = h_0$ . On donne :

$$t_1 = 30 \text{ °C} ; t_2 = 300 \text{ °C} \text{ et } t_{cr} = 374 \text{ °C}.$$

La variation d'entropie massique pour un liquide dont la température évolue de  $T_1$  à  $T_2$  est  $S_2 - S_1 = c \ln ( T_2/T_1)$  La variation d'entropie massique au cours d'un déplacement sur le palier d'équilibre liquide-vapeur à la température  $T_1$  est :

$$\Delta s = \Delta h / T_1$$

Extraits de tables thermodynamiques pour l'eau sur le palier d'équilibre

Contact : [a.touahria@centre-univ-mila.dz](mailto:a.touahria@centre-univ-mila.dz)

Module : Thermodynamique appliquée

Niveau : Master 1 électromécanique

liquide-vapeur :

- liquide saturant à  $p_1 = 85,9$  bar et  $300$  °C :  $s = 3,24$  kJ.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> ;  
 $h = 1345$  kJ.kg<sup>-1</sup>

- liquide saturant à  $p_0 = 0,04$  bar et  $30$  °C :  $s = 0,44$  kJ.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> ;  $h = 126$  kJ.kg<sup>-1</sup>

- vapeur saturante sèche à  $85,9$  bar et  $300$  °C :  $s = 5,57$  kJ.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> ;  
 $h = 2749$  kJ.kg<sup>-1</sup>

- vapeur saturante sèche à  $0,04$  bar et  $30$  °C :  $s = 8,46$  kJ.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> ;  
 $h = 2566$  kJ.kg<sup>-1</sup>

1. Représenter l'allure du cycle décrit par le fluide dans le diagramme  $(T,s)$ .
2. Déterminer le titre massique et l'enthalpie massique de la vapeur à la sortie de la turbine.
3. Calculer l'efficacité du cycle  $\eta = W_{\text{turbine}} / q_{\text{CV}}$
4. Dans quel état se trouve le fluide à la fin de la détente dans la turbine ? Pourquoi est-ce un inconvénient pour les parties mobiles de la machine ?