

# TD N°1 MACHINES THERMIQUES

## Exercice 1 :

On considère une Centrale Thermique à Flamme basée sur un cycle de Hirn.

a) Dessiner un schéma de l'installation

b) On procèdera à l'étude cycle dans le diagramme TS de transformation de l'eau pure ci-joint.

Calculer les grandeurs suivantes :

1. La température à la sortie de la turbine ainsi que le titre de vapeur à la sortie de la turbine ainsi que le titre de vapeur.
2. La puissance fournie par la turbine.
3. L'enthalpie massique à la sortie de la pompe.
4. La quantité de chaleur cédée au condenseur pendant une heure de fonctionnement.
5. La quantité de chaleur fournie par la chaudière (Générateur vaporiseur + surchauffeur) pendant une heure de fonctionnement.
6. Le rendement de cette installation.

On utilisera les données suivantes :

- Fluide : eau
- Débit : 1620 t/h
- Compression adiabatique avec un travail absorbé de 20 kJ/kg
- Détente adiabatique avec un rendement isentropique de 83%
- Echanges de chaleur isobares
- Température en sortie de condenseur : 293° K
- Température en sortie de chaudière : 623° K
- Température en sortie de surchauffeur : 803 K°

## Exercice 2 :

On s'intéresse à l'étude d'une centrale nucléaire dont la Turbine à vapeur fonctionne au cycle de Rankine.

### **Partie 1 :**

L'eau liquide étant très peu compressible et de volume massique négligeable par rapport au volume massique de l'eau vapeur, on admet dans cette partie que son état ne dépend que de la température  $T$ .

On admet de plus que la capacité thermique massique  $c_L$  de l'eau liquide est une constante. Ces approximations sont fort exagérées et les résultats obtenus dans cette partie seront considérés à titre d'étude théorique.

1. Déterminer l'enthalpie massique de l'eau liquide  $h_L(T)$  à la température  $T$ , en supposant connue l'enthalpie massique  $h_L(T_0)$  de l'eau liquide à une température  $T_0$ , en fonction de  $T$ ,  $T_0$ ,  $c_L$ ,  $h_L(T_0)$ .

2. En déduire l'enthalpie massique  $h_L(T)$  du mélange eau liquide-vapeur d'eau en équilibre à la température  $T$ , dont le titre massique de vapeur est  $x$ , en fonction de  $T$ ,  $T_0$ ,  $c_L$ ,  $x$ ,  $L_V(T)$ ,  $h_L(T_0)$ .
3. Déterminer l'entropie massique de l'eau liquide  $s_L(T)$  à la température  $T$  en supposant connue l'enthalpie massique  $s_L(T_0)$  de l'eau liquide à une température  $T_0$ .
4. En déduire l'entropie massique  $s_L(T)$  du mélange eau liquide-vapeur d'eau en équilibre à la température  $T$ , dont le titre massique de vapeur est  $x$ , en fonction de  $T$ ,  $T_0$ ,  $c_L$ ,  $x$ ,  $L_V(T)$ ,  $s_L(T_0)$ .

Avec :

- $x$  : le titre massique
- $L_V$  : la chaleur latente massique de vaporisation de l'eau.

### Partie 2:

1. En partant du tableau de données et de l'étude très simplifiée précédente, déterminer par régression linéaire la valeur numérique de  $c_L$  (5 chiffres significatifs et unité). Les 5 points vous semblent-ils tous vérifier l'hypothèse ?
2. En partant du tableau suivant, déterminer par régression linéaire la valeur numérique de  $A$  et  $B$  si on pose  $L_V(T) = A - B.T$  (5 chiffres significatifs et unités). Les 5 points vous semblent-ils tous vérifier l'hypothèse ?

$\theta$ °C	$P_{sat}$ bar	Liquide saturant		Vapeur saturante	
		$v_L$ ( $m^3.kg^{-1}$ )	$h_L$ ( $kJ.kg^{-1}$ )	$v_G$ ( $m^3.kg^{-1}$ )	$h_G$ ( $kJ.kg^{-1}$ )
35	0,056	$1,00.10^{-3}$	146,34	25,24	2560,67
50	0,123	$1,01.10^{-3}$	208,96	12,04	2587,42
100	1,013	$1,04.10^{-3}$	418,42	1,673	2671,44
185	11,238	$1,13.10^{-3}$	784,17	0,174	2778,03
285	69,200	$1,35.10^{-3}$	1261,11	0,028	2768,83

Avec  $P_{sat}$  : Pression de vapeur saturante.

### Partie 3:

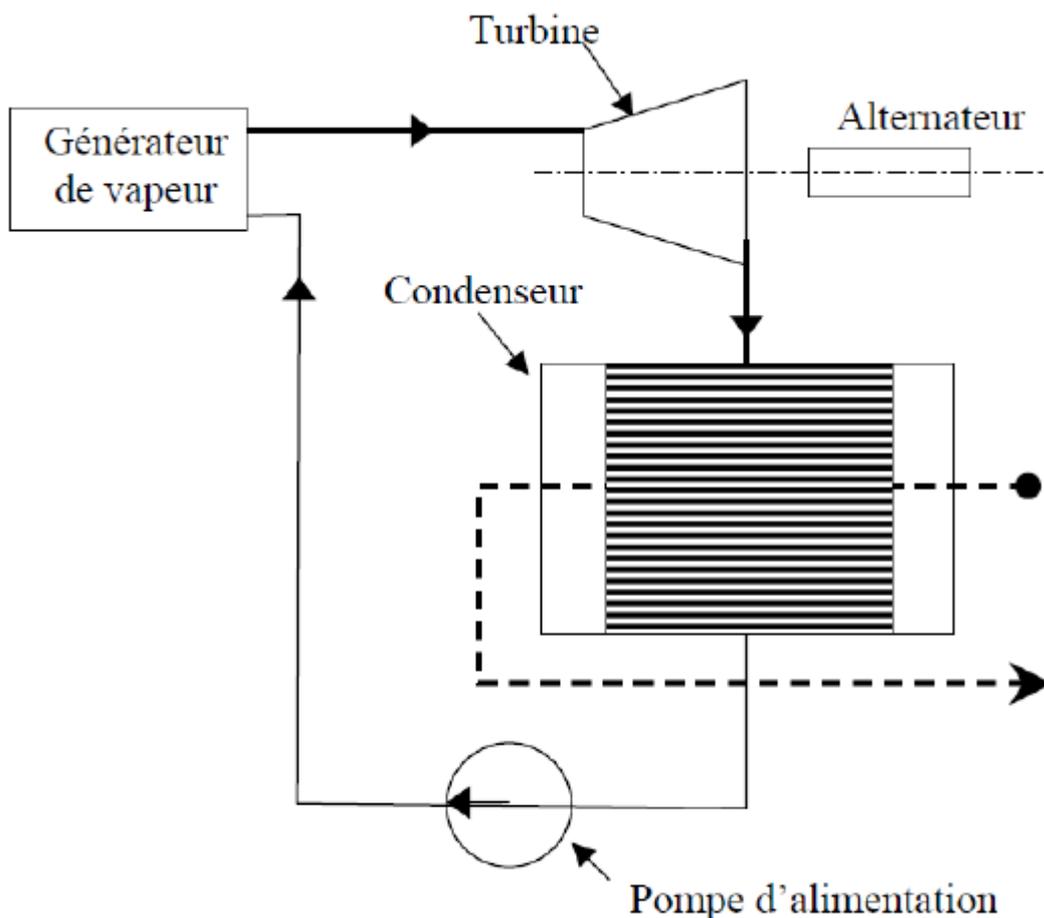
Dans la suite du problème tous les calculs se rapporteront à une masse  $m=1$  kg de fluide. On admet l'expression de l'entropie massique d'un système liquide-vapeur, de titre massique en vapeur  $x$ , en équilibre à la température  $T$  trouvée à la première partie dans laquelle  $c_L$  est une constante.

La formule est, bien entendu, utilisable aux limites pour la vapeur saturante ( $x=1$ ) ou pour le liquide saturant ( $x=0$ ). On prendra  $c_L = 4,20 \text{ kJ.kg}^{-1}.K^{-1}$ .

On utilise aussi le tableau de données.

Le circuit secondaire de la centrale nucléaire comporte les éléments suivants: un générateur de vapeur, une turbine, un condenseur et une pompe d'alimentation (figure1). Les transformations subies par l'eau dans ce circuit sont modélisées par le cycle de Rankine décrit ci-dessous.

- A - B : compression adiabatique réversible, dans la pompe d'alimentation, de la pression  $P_1=0,056$  bar à la pression  $P_2=69,200$  bar, du liquide saturant sortant du condenseur à la pression  $P_1$  (état A). Cette compression entraîne une élévation  $\Delta T$  de la température du liquide.
- B - C : échauffement isobare du liquide dans le générateur de vapeur qui amène le liquide de l'état B à l'état de liquide saturant sous la pression  $P_2$  (état C).
- C - D : vaporisation totale, dans le générateur de vapeur, sous la pression  $P_2$ . Dans l'état D, le fluide se trouve à l'état de vapeur saturante.
- D - E : détente adiabatique réversible, dans la turbine, de  $P_2$  à  $P_1$ . Dans l'état E, le fluide se trouve à l'état de fluide diphasé.
- E - A : liquéfaction totale du fluide, dans le condenseur, sous la pression  $P_1$ .



**Figure 1**

1. Représenter avec soin le cycle décrit par l'eau dans le diagramme de Clapeyron (T;S).

2. Qualifier chacune des cinq transformations par un ou si possible deux des qualificatifs suivants: isentropique, isobare, isotherme
3. Donner la valeur numérique des enthalpies massiques  $h_A$ ,  $h_C$ ,  $h_D$ .
4. Déterminer les entropies massiques  $s_A$ ,  $s_B$ ,  $s_C$ ,  $s_D$ ,  $s_E$ .
5. Calculer le titre  $x_E$  et l'enthalpie massique  $h_E$  du système liquide-vapeur sortant de la turbine.
6. A partir des enthalpies massiques, calculer la quantité d'énergie  $q_{EA}$  reçue par kg d'eau, par transfert thermique dans le condenseur.
7. On étudie ici la compression A - B dans la pompe.
  - Rappeler l'expression de la différentielle de l'enthalpie massique  $dh$  avec  $h=h(s,P)$ .
  - En déduire  $\Delta h_{AB}=h_B-h_A$  (formule littérale puis application numérique). On fera ici l'approximation que le liquide est incompressible et on prendra  $v_L=10^{-3} \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$ .
  - Calculer  $h_B$ .
  - La différentielle de l'entropie massique  $ds$  du liquide avec  $s=s(T,P)$  s'écrit (sans faire ici d'approximation) en fonction des variables T et P :  $ds=c_L.dT/T-\alpha.v_L.dP$ . On suppose ici que la capacité thermique du liquide est constante  $c_L=4,20 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  et que le coefficient de dilatation isobare  $\alpha$  de l'eau liquide est constant  $\alpha =1,5 \cdot 10^{-4}.\text{K}^{-1}$ . On note  $\Delta T$  l'élévation de la température du liquide dans la pompe d'alimentation avec  $\Delta T \ll T$ . Exprimer puis calculer  $\Delta T$ .
  - L'élévation de température au pompage est-elle élevée?
8. Calculer la quantité d'énergie  $q_{BD}$  reçue par kg d'eau, par transfert thermique dans le générateur de vapeur.
9. Calculer le travail échangé au cours du cycle.
10. Comparer le travail absorbé par la pompe au travail d'un cycle.
11. Calculer le rendement d'un cycle.