

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 ?

θ °C	P_{sat} bar	Liquide saturant		Vapeur saturante	
		v_L ($m^3 \cdot kg^{-1}$)	h_L ($kJ \cdot kg^{-1}$)	v_G ($m^3 \cdot kg^{-1}$)	h_G ($kJ \cdot kg^{-1}$)
35	0,056	$1,00 \cdot 10^{-3}$	146,34	25,24	2560,67
50	0,123	$1,01 \cdot 10^{-3}$	208,96	12,04	2587,42
100	1,013	$1,04 \cdot 10^{-3}$	418,42	1,673	2671,44
185	11,238	$1,13 \cdot 10^{-3}$	784,17	0,174	2778,03
285	69,200	$1,35 \cdot 10^{-3}$	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 $c_L = 4,20 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

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 ΔT 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 .

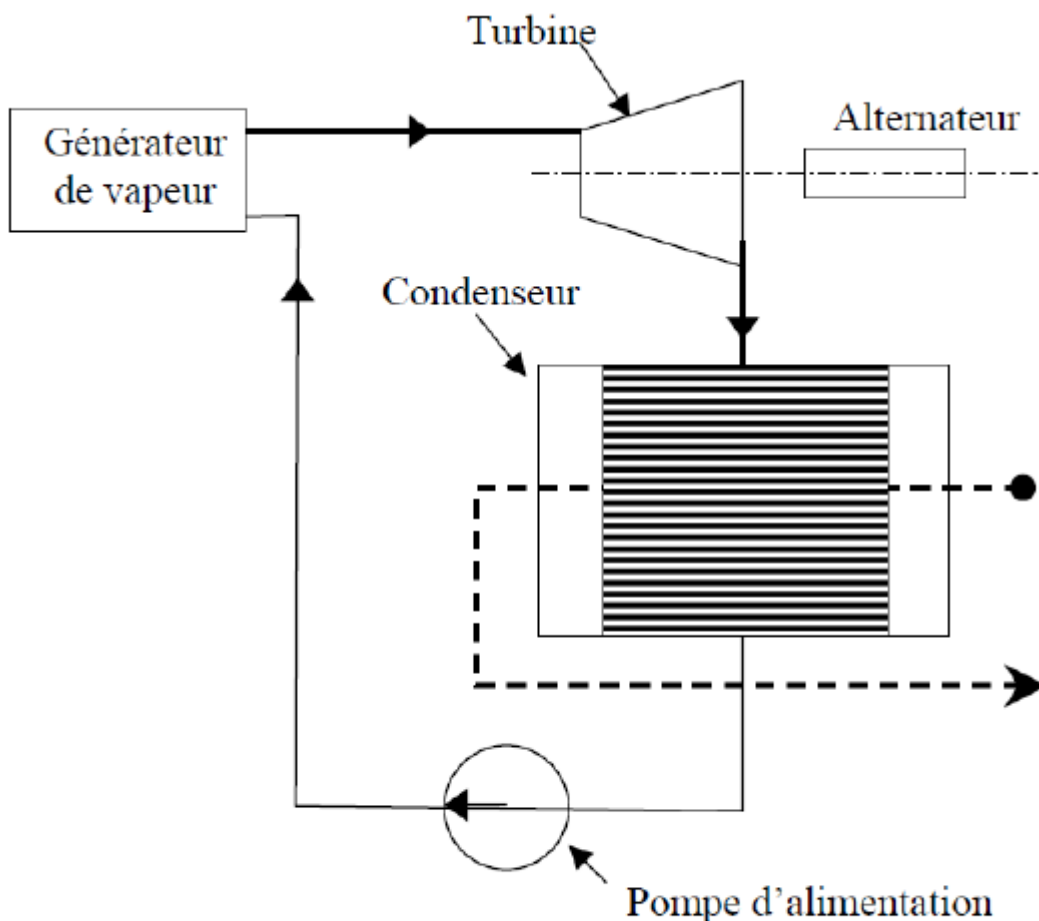


Figure 1

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 α de l'eau liquide est constant $\alpha =1,5 \cdot 10^{-4}.\text{K}^{-1}$. On note ΔT l'élévation de la température du liquide dans la pompe d'alimentation avec $\Delta T \ll T$. Exprimer puis calculer ΔT .
 - 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.