INSTITUT PREPARATOIRE AUX ETUDES D'INGENIEURS DE SFAX

Département des Etudes Préparatoires aux Concours de Technologie

Année Universitaire 2020 -2021

Épreuve de Physique

(2ème Année de Préparation Biologie - Géologie)

Mardi 02 Février 2021 de 8h30 à 11h30

Problème 1 : (DEVOIR DE CONTROLE)

Ce problème a pour objectif l'étude du système liquide-vapeur de l'eau et son utilisation dans le circuit secondaire des centrales nucléaires. L'équilibre entre l'eau liquide et sa vapeur est caractérisé, à différentes températures, par les données suivantes :

θ(°C)	P_s (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

θ : Température en degré Celsius

P_s : Pression de vapeur saturante

v_L : Volume massique du liquide saturant

h_L : Enthalpie massique du liquide saturant

v_G : Volume massique de la vapeur saturante

h_G : Enthalpie massique de la vapeur saturante

Partie I : Diagramme de Clapeyron (P, v) du système liquide-vapeur de l'eau

On désigne par P la pression du système liquide-vapeur et par v son volume massique

1- Représenter l'allure du diagramme de Clapeyron (P, v) de l'eau. On prendra soin de préciser la position du point critique C, les domaines liquide (L), liquide + vapeur (L+V), et vapeur (V).

2- Représenter sur le diagramme précédent :

a- L'allure de l'isotherme critique T_c et préciser ses caractéristiques.

b- L'allure d'une isotherme $T < T_c$ et justifier la présence d'un palier sur cette isotherme.

3- On rappelle que le titre massique en vapeur x d'un système liquide-vapeur est égal au rapport entre la masse m_G d'eau à l'état vapeur saturante et la masse totale m du système. On désigne, respectivement par : v_m et h_m, le volume massique et l'enthalpie massique du système liquide-vapeur.

Montrer que <u>le titre massique en vapeur</u> x est donné par l'une quelconque des relations ci-dessous :

$$x = \frac{v_m - v_L}{v_G - v_L} \quad \text{et} \quad x = \frac{h_m - h_L}{h_G - h_L}$$

4- On désigne par $l_v(T)$ la chaleur latente massique de vaporisation à la température T. Rappeler la relation reliant $l_v(T)$ à $h_G(T)$ et $h_L(T)$.

Partie II : Détente adiabatique réversible d'un système liquide-vapeur

On dispose d'un cylindre indéformable muni d'un piston. Le cylindre et le piston ont des parois calorifugées. L'entropie massique d'un système liquide-vapeur, de titre massique en vapeur x, en équilibre à la température T est donnée par la relation : $s(x,T) = c_L\, lnT + \frac{l_v(T)\,x}{T} + cste$, dans laquelle c_L désigne la capacité thermique massique du liquide saturant. Le piston est, initialement, fixé dans une position qui délimite un volume V= 10 litres dans le cylindre.

L'introduction d'une masse m= 10 g d'eau dans le cylindre permet d'obtenir un système liquide-vapeur en équilibre à la température θ= 100 °C.

5- Calculer le titre massique en vapeur x de ce système <u>tout en négligeant le volume d'eau liquide par rapport à celui de l'eau vapeur considéré comme gaz parfait</u>.

6- On fait subir au système liquide-vapeur défini ci-dessus une détente adiabatique réversible de la température θ à la température θ'= 50 °C.
Sachant que c_L reste constante au cours de cette détente et égale à 4,18 kJ. kg^{-1}. K^{-1}, calculer le titre massique en vapeur x' du système liquide-vapeur à la fin de la détente.

7- Quel titre massique en vapeur x'' aurait-on du avoir, à la température θ=100 °C, pour qu'au cours de la détente définie ci-dessus (question 6) ce titre reste constant ($s(x'', \theta) = s(x'', \theta')$) ?

Dans la suite du problème tous les calculs se rapportent à une masse m= 1 kg de fluide. La capacité thermique massique c_L du liquide est constante et vaut 4,18 kJ. kg^{-1}. K^{-1}. Le coefficient de dilatation isobare α de l'eau liquide, supposé constant, vaut 1,5. 10^{-4} K^{-1}.

Partie III : Modèle de fonctionnement d'une turbine à vapeur. Cycle de Rankine.

Le circuit secondaire d'une centrale nucléaire comporte les éléments suivants : un générateur de vapeur, une turbine, un condenseur et une pompe d'alimentation (Figure 1). 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 transformation entraine une élévation ΔT de la température du liquide.
- B→D : 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 D).
- D→E : vaporisation totale, dans le générateur de vapeur sous la pression P_2.
- E→F : détente adiabatique réversible, dans la turbine de P_2 à P_1 .
- F→A : liquéfaction totale, dans le condenseur, sous la pression P_1, de la vapeur présente dans l'état F.

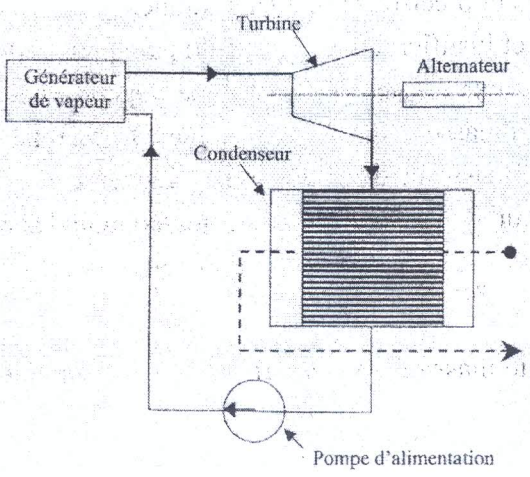

Figure 1

8- Représenter le cycle décrit par l'eau dans le diagramme de Clapeyron (P, v)

9- La différentielle de l'entropie massique du liquide s'écrit, en fonction des variables T et P :

$$ds = c_L \frac{dT}{T} - \alpha\, v_L\, dP$$

On note $\Delta T = T - T_1$ l'élévation de la température du liquide dans la pompe d'alimentation. Sachant que $\Delta T \ll T_1$, calculer ΔT. On supposera, pour ce calcul, que le liquide est incompressible et que son volume massique v_L vaut 10^{-3} m^3. kg^{-1}.

Dans la suite du problème, on négligera ΔT.

10- Calculer le titre x_F et l'enthalpie massique h_{mF} du système liquide-vapeur sortant de la turbine (état F).

11- Calculer les quantités d'énergie Q_1 et Q_2 reçues par 1 kg d'eau, par transfert thermique, respectivement, dans le condenseur et dans le générateur de vapeur.

12- Calculer le travail W reçu, par un kg de fluide, au cours du cycle.

13- Calculer l'efficacité ρ (ou rendement thermodynamique) du cycle. Comparer cette efficacité à celle ρ_c du cycle de Carnot décrit par les mêmes températures extrêmes T_1 et T_2.

14- Calculer la variation d'enthalpie Δh_{AB} du liquide au cours de la compression AB. On supposera, pour ce calcul, que le liquide est incompressible et que son volume massique v_L vaut 10^{-3} m^3. kg^{-1}.

15- Dans le calcul du bilan enthalpique du fluide au cours du cycle, on peut négliger la variation d'enthalpie Δh_{AB}. Montrer, alors, que le travail W peut s'exprimer en fonction des enthalpies massique du fluide à l'entrée et à la sortie de la turbine.