

PARTIE MECANIQUE ET THERMODYNAMIQUE (durée conseillée : 1 h 15 mn)

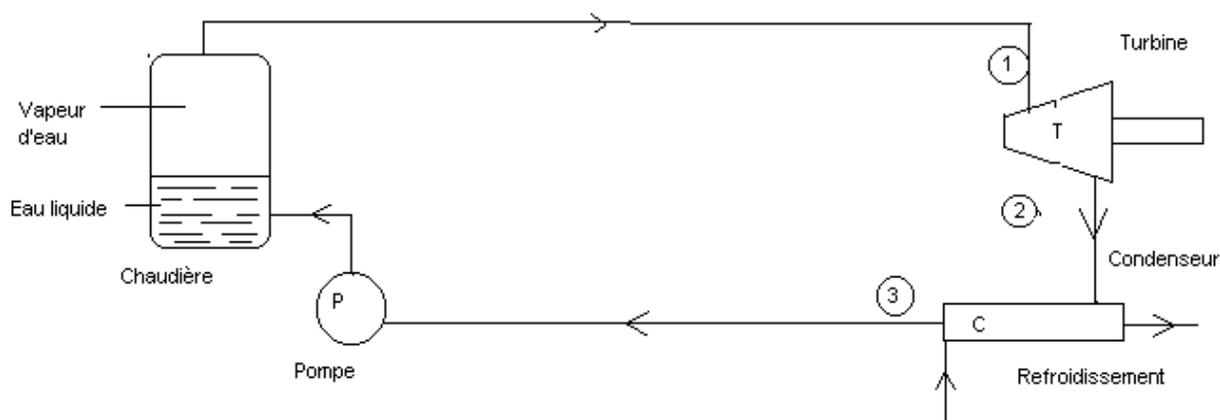
ETUDE D'UNE CENTRALE THERMIQUE

REMARQUES IMPORTANTES :

Le sujet comporte deux parties A et B **complètement indépendantes**. A l'intérieur de ces parties les questions sont regroupées sous des paragraphes (ex : I, II,...). Les paragraphes sont indépendants les uns des autres, ou les résultats des paragraphes précédents, qu'ils utilisent, vous sont donnés. Enfin, à l'intérieur même des paragraphes de nombreuses questions peuvent être résolues sans les précédentes.

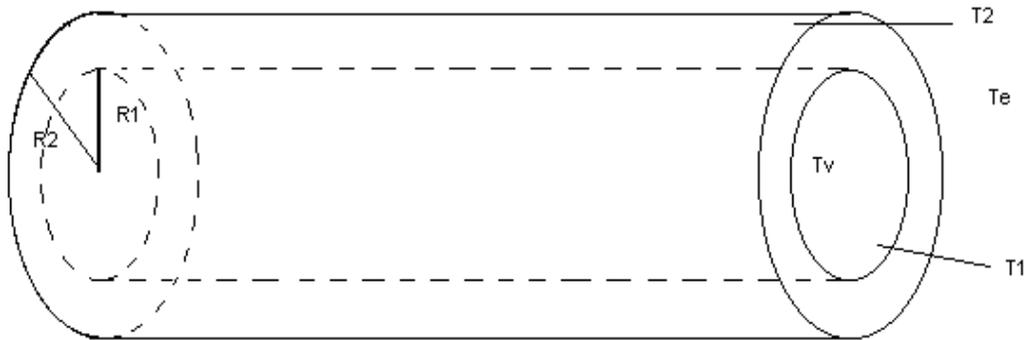
Plusieurs questions de ce problème sont qualitatives et ne nécessitent donc aucun calcul.

Schéma de la centrale thermique étudiée :



PARTIE A : Pertes de chaleur dans les tuyaux d'arrivée de la vapeur

La vapeur surchauffée parvient à la turbine par des tuyaux cylindriques de rayon intérieur R_1 et de rayon extérieur R_2 . Le matériau a une conductivité thermique λ . A l'intérieur, la vapeur d'eau est à une température T_v . La paroi intérieure du tuyau s'élève à une température T_1 et la paroi extérieure à une température T_2 . L'air à l'extérieur est à la température T_e . On appellera L la longueur du tuyau. Nous supposons que le régime est stationnaire.



I Propagation de la chaleur à travers la paroi du tuyau :

La chaleur se propage à travers la paroi cylindrique par conduction. La densité de courant de chaleur est donnée par la loi de FOURIER : $\vec{j}_c = -\lambda \frac{dT}{dr} \vec{n}$

I.1. Donner la signification physique de la loi citée ci-dessus en précisant qualitativement quels paramètres influent sur le transfert de chaleur. Sur un schéma, représenter \vec{j}_c .

I.2. La quantité de chaleur qui traverse un élément de surface dS de la paroi, chaque seconde, est $d\Phi_c = J_c \cdot dS$. On l'appelle flux de chaleur traversant dS .

Le flux de chaleur $\Phi_c(r)$, traversant le cylindre de rayon r ($R_1 < r < R_2$) et de longueur L ,

s'exprime par : $\Phi_c(r) = -2\pi r L \lambda \frac{dT}{dr}$. Pourquoi peut on dire que, dans notre cas, Φ_c est

indépendant de r ?

En intégrant l'expression obtenue, on montre que :

$$\Phi_c = -2L\pi\lambda \frac{(T_2 - T_1)}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$$

Ce résultat n'est pas à démontrer, mais il vous sera utile par la suite.

II Echanges entre les parois et les fluides :

Les échanges thermiques entre la vapeur d'eau et la paroi intérieure d'une part et entre la paroi extérieure et l'air ambiant d'autre part, sont de type convectifs. Ils suivent une loi de NEWTON, dans laquelle le flux de chaleur traversant un élément dS de la paroi est donné par la relation : $d\Phi = h dS \Delta T$. h est le coefficient de convection et ΔT est la différence de température entre le fluide et la paroi. On supposera que h est le même pour les deux surfaces d'échange.

II.1. Expliciter Φ_{int} , le flux thermique entre la vapeur et la paroi intérieure.

II.2. Expliciter Φ_{ext} , le flux thermique entre la paroi extérieure et l'air ambiant.

III Calcul des pertes du tuyau :

III.1. Pourquoi peut on écrire que $\Phi_c = \Phi_{int} = \Phi_{ext}$? Quelle relation y a-t-il entre ces flux et les pertes de chaleur par unité de temps du tuyau?

III.2. A l'aide des expressions trouvées au I et II exprimer $(T_v - T_1)$, $(T_1 - T_2)$ et $(T_2 - T_e)$.

III.3. En déduire que les pertes de chaleur par unité de temps, Φ valent:

$$\Phi = \frac{2\pi.L(T_v - T_e)}{\frac{1}{R_1 h} + \frac{\ln \frac{R_2}{R_1}}{\lambda} + \frac{1}{R_2 h}}$$

III.4. Application numérique : $R_1 = 3,5 \text{ cm}$; $R_2 = 4,0 \text{ cm}$; $L = 1 \text{ m}$;
 $T_v = 300^\circ\text{C}$; $T_e = 25^\circ\text{C}$;
 $\lambda = 55,5 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$; $h = 23,3 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$

Calculez Φ .

III.5. Que pensez vous de cette valeur? Comment peut-on faire pour limiter ces pertes?

PARTIE B : Etude de la partie turbine-condenseur

Les données nécessaires à cette partie sont regroupées ci-dessous.

	Pression (Pa)	Température ($^\circ\text{C}$)
Entrée de la turbine (1)	$2,0.10^6$	300
Sortie de la turbine et entrée du condenseur (2)	$1,5.10^4$	54
Sortie du condenseur (3)	$1,5.10^4$	46

Données thermodynamiques sur la vapeur saturée :

Pression kPa	Temp. $^\circ\text{C}$	Vol. massique $\text{m}^3.\text{kg}^{-1}$		Energie interne kJ.kg^{-1}		Enthalpie kJ.kg^{-1}	
		Liq. sat.	Vap. Sat.	Liq. sat.	Vap. Sat.	Liq. sat.	Vap. Sat.
5	33	0,001005	28,19	137,81	2420,5	137,82	2561,5
7,5	40	0,001008	19,24	168,78	2430,5	168,79	2574,8
10	46	0,001010	14,67	191,82	2437,9	191,83	2584,7
15	54	0,001014	10,02	225,92	2448,7	225,94	2599,1
20	60	0,001017	7,649	251,38	2456,7	251,40	2609,7
25	65	0,001020	6,204	271,9	2463,1	271,93	2618,2

B.T.S. T.P.I.L.

Données thermodynamiques sur la vapeur surchauffée :

Température °C	Pression : $1,80 \cdot 10^6$ Pa			Pression : $2,00 \cdot 10^6$ Pa		
	vol. mass. $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	Energie int. $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	Enthalpie $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	vol. mass. $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	Energie int. $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	Enthalpie $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
225	0,11673	2636,6	2846,7	0,10377	2628,3	2835,8
250	0,12497	2686,0	2911,0	0,11144	2679,6	2902,5
300	0,14021	2776,9	3029,2	0,12547	2772,6	3023,5
350	0,15457	2863,0	3141,2	0,13857	2859,8	3137,0
400	0,16847	2947,7	3250,9	0,15120	2945,2	3247,6

Capacité thermique massique de l'eau considérée constante : $C_e = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Chaleur latente de vaporisation de l'eau : $L_v = 2370 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

Débit massique de la vapeur en entrée de turbine : $Q_{mv} = 1,5 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$

Débit massique de l'eau de refroidissement dans le condenseur : $Q_{me} = 200 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$

Température de l'eau de refroidissement : $T_e = 15 \text{ °C}$.

1. Décrire brièvement le cycle de fonctionnement d'une telle installation.
2. On fait l'hypothèse que, lors du passage dans la turbine, la vapeur subit une détente adiabatique. Nous allons nous intéresser aux échanges à ce niveau.

2.1. Quelle est la caractéristique d'une transformation adiabatique?

2.2. Le travail des forces de pesanteur ainsi que la variation d'énergie cinétique subie par l'unité de masse du fluide sont supposées négligeables devant les autres quantités d'énergie échangées.

a) Rappeler l'expression de la conservation de l'énergie pour l'unité de masse de gaz passant de la pression P_1 et du volume V_1 à la pression P_2 et au volume V_2 en recevant le travail mécanique W_T de la part de la turbine. Exprimer cette relation en fonction des enthalpies H_1 et H_2 .

b) Calculer le travail fourni par 1 kg de vapeur d'eau à la turbine lors de son passage.

B.T.S. T.P.I.L.