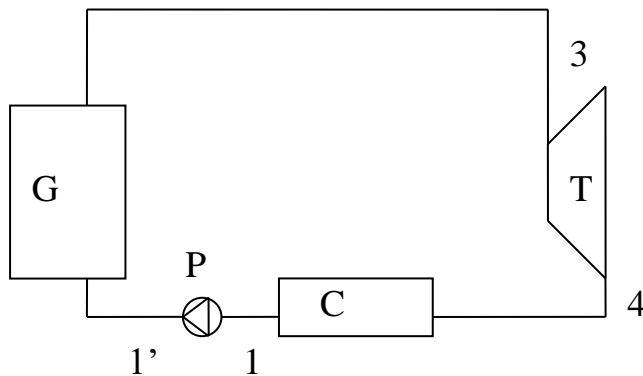


OPTIMISATION DES CYCLES DE VAPEURS

On utilise de la vapeur d'eau dans un circuit pour produire du travail.

I- Cycle de Rankine idéal

Le circuit ci-dessous permet d'obtenir le cycle de Rankine.



G : générateur de vapeur
 T : turbine à vapeur
 C : condenseur
 P : pompe à eau liquide

Remarque importante : dans tous les calculs, on négligera le travail de compression de l'eau liquide au niveau de la pompe P. On pourra donc admettre pour l'eau liquide $h_1=h_{1'}$ (h étant l'enthalpie massique)

La vapeur à la sortie du générateur est de la vapeur saturante sèche.

Le condenseur ne 'sous-refroidit' pas l'eau condensée.

La détente dans la turbine est isentrope.

Le cycle fonctionne entre les pressions 0,048 bars et 57,242 bars

Pour ces pressions, les propriétés de l'eau, correspondant aux changements d'état, sont données dans le tableau ci-dessous (ainsi que d'autres données utiles pour la suite).

P bar	t °C	h_l kcal/kg	S_l kcal/kg/K	h_v kcal/kg	s_v kcal/kg/K
0,048	31,21	32,11	0,1111	611,3	2,0087
57,242	272,32	286,04	0,7186	665,36	1,4111
10	180	182,1	0,5104	663,2	1,5725
57,242	700			930	1,7767

1°) Donner l'allure du cycle de Rankine idéal dans un diagramme (T,s). (numéroter les différents points du cycle avec soin)

2°) Calculer à l'aide du tableau ci-dessus :

la valeur du titre x_4 en vapeur à la fin de la détente,

la valeur de l'enthalpie h_4 .

3°) Définir le rendement de l'installation

Donner la formule littérale qui permet de calculer ce rendement en fonction des enthalpies des points importants du cycle. Donner la valeur numérique de ce rendement.

1°) Donner l'allure de ce cycle dans un diagramme (T,s) . (numéroter les différents points du cycle avec soin). Comment représenter l'étape 5-6 sur le diagramme (T,s) ?

Pour 1kg d'eau liquide en 6, reporter sur le graphe la masse d'eau mis en jeu dans chacune des étapes du cycle.

2°) Calculer la valeur du titre x_5 en vapeur au niveau du soutirage.

En déduire la valeur de l'enthalpie h_5 au niveau du soutirage.

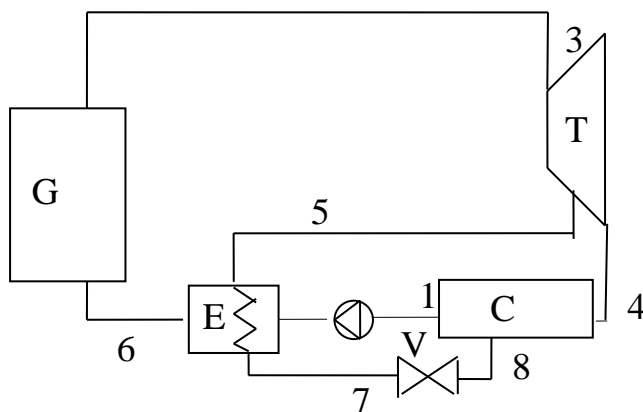
3°) Ecrire le bilan énergétique du mélangeur (justifier brièvement le raisonnement).

En déduire la valeur du taux de soutirage y .

4°) Calculer le rendement de ce cycle

V- Amélioration du cycle de Rankine avec un soutirage et sans mélange

Comme précédemment, on réalise, au cours de la détente dans la turbine T, un soutirage du fluide. Ce fluide sert à préchauffer l'eau issue du condenseur. Mais dans ce cycle, on ne mélange pas les fluides, on utilise un échangeur.



E : Echangeur à pression constante sans perte

V : Vanne de détente isenthalpique

Le soutirage est effectué à la pression $P_5 = 10$ bars.

L'eau en 7 est liquide et son point représentatif est sur la courbe de changement d'état.

Le fluide de soutirage, détendu en 8, est injecté au cours de la condensation.

Pour produire 1 kg d'eau liquide en 6, il faut soutirer y (en kg) en 5.

La détente s'effectue sous les mêmes conditions 3 et 4 définies au I et le point 1 est également identique.

1°) Donner l'allure de ce cycle dans un diagramme (T,s) . (numéroter les différents points du cycle avec soin).

2°) Ecrire le bilan énergétique de l'échangeur (justifier brièvement le raisonnement).

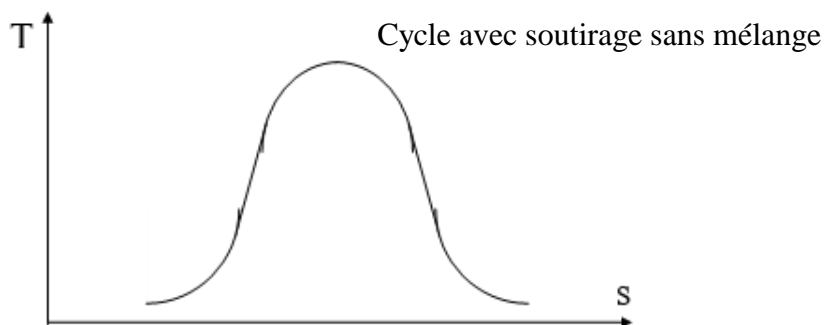
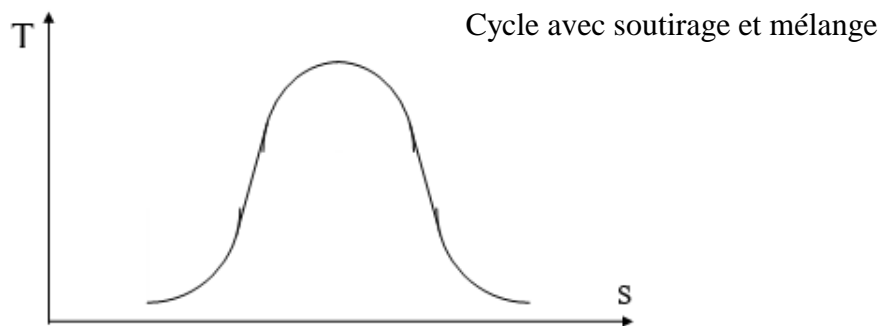
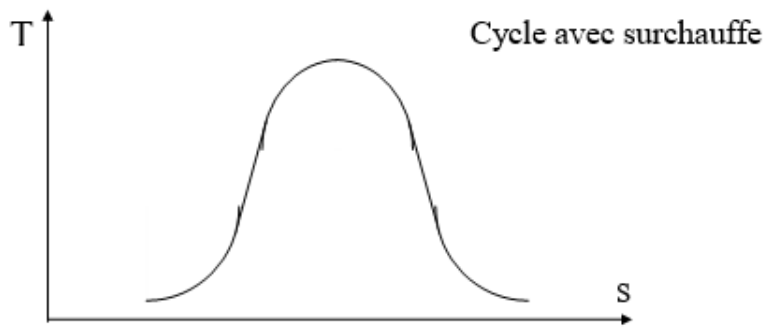
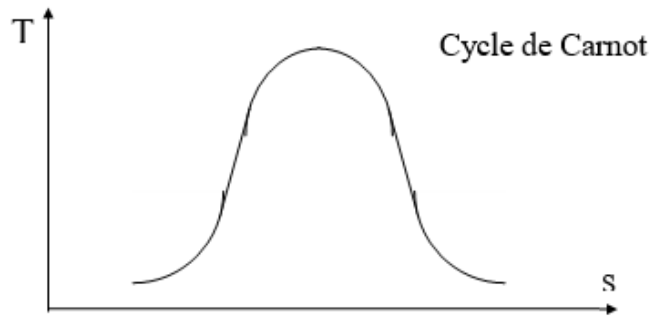
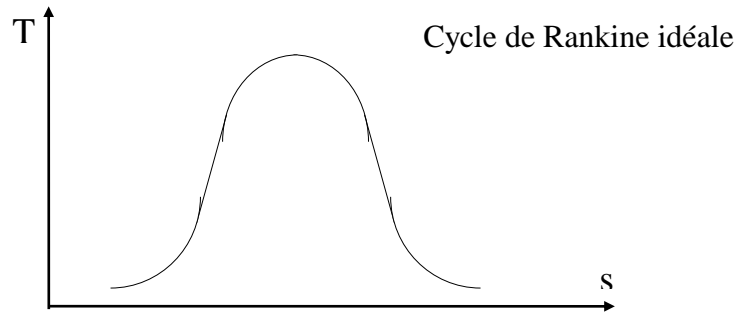
En déduire le taux de soutirage Y .

remarque : le point 5 a les mêmes caractéristiques que précédemment. Pour les points 6 et 7, bien qu'ils soient à des pressions différentes, on supposera pour les calculs que leurs autres caractéristiques sont identiques.

3°) Calculer le rendement de ce cycle.

Quelles conclusions faut-il relever en comparant ce rendement aux précédents ?

NOM :



Réponses

Cycle de Rankine idéal

1°) voir diagramme (T,s)

2°) $x_4 = (s_4 - s_1)/(s_4' - s_1)$ et $s_4 = s_3$, $x_4 = 0,685$

$$h_4 = x_4 h_4' + (1 - x_4) h_1, h_4 = 428,85 \text{ kcal/kg}$$

(Rq: pas besoin de convertir en SI, car des rapports d'enthalpie sont calculés dans la suite)

3°) $n_r = -W^{\text{cycle}} / Q_c = -W_T^u / Q_c$ en négligeant W_P^u

$$n_r = (h_3 - h_4)/(h_3 - h_1) = 0,373$$

Cycle de Carnot

1°) voir diagramme (T,s)

2°) $n_c = 1 - T_4/T_3$ (voir la démonstration dans un cours de thermodynamique)

$$n_c = 0,440$$

$n_r < n_c$ car dans le cycle de Rankine, il y a des irréversibilités (chauffage de l'eau de 1' à 3)

Amélioration du cycle de Rankine avec une surchauffe

1°) D'après le tableau fourni, on remarque que $s_v^4(700^\circ\text{C}, 57,242 \text{ bar}) < s_v^4(31,21^\circ\text{C}, 0,048 \text{ bar})$. La détente se termine toujours avec un mélange liquide/vapeur

Placement des points du cycle : voir diagramme (T,s)

2°) même raisonnement que pour le cycle de Rankine idéal

$$x_4 = 0,878, h_4 = 540,64 \text{ kcal/kg}$$

3°) $n_{r,\text{surchauf}} = 0,434$

Amélioration du cycle de Rankine avec un soutirage et mélange

1°) voir diagramme (T,s)

2°) même raisonnement que pour le cycle de Rankine idéal

$$x_5 = 0,848, h_5 = 590,10 \text{ kcal/kg}$$

3°) $h_{\text{sortie}} = h_{\text{entrée}} \implies h_6 = y h_5 + (1 - y) h_1$

$$y = 0,269$$

$$n_{r,\text{sousTir+mél}} = -(W_{3-4}^u + W_{3-5}^u) / Q_c = 0,400$$

Amélioration du cycle de Rankine avec un soutirage et sans mélange

1°) voir diagramme (T,s)

2°) $h_{\text{sortie}} = h_{\text{entrée}} \implies (1 - y)(h_6 - h_1') = y(h_5 - h_7)$

$$\text{en prenant } h_7 = h_6 \text{ et } h_1 = h_1' : y = 0,368$$

3°) $n_{r,\text{sousTir}} = -(W_{3-4}^u + W_{3-5}^u) / Q_c = 0,365$

$$n_{r,\text{sousTir}} < n_r < n_{r,\text{sousTir+mél}} < n_{r,\text{surchauf}} < n_c$$