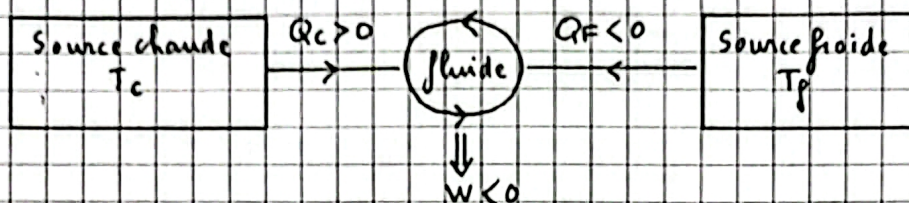


Partie A. L'énergie thermique des mers

Q1.

Q2. Premier principe au fluide: $\Delta U = W + Q_c + Q_f = 0$ (cycle)Second principe au fluide: $\Delta S = \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} = 0$ (cycle réversible)

$$\text{Rendement: } \eta = \frac{-W}{Q_c} = \frac{Q_c + Q_f}{Q_c} = 1 + \frac{Q_f}{Q_c} \Rightarrow \boxed{\eta = 1 - \frac{T_f}{T_c}}$$

A.N: $\eta = 7\%$ valeur faibleQ3. Pour avoir une différence de 20° , il faut être à la profondeur de 900 m ($26^\circ\text{C} \rightarrow 6^\circ\text{C}$)

Q4. En supposant l'eau de mer incompressible et en appliquant la relation de la statique des fluides, on a:

$$P(900\text{ m}) = P_{\text{surface}} + \rho_1 g h \quad (h = 900\text{ m})$$

A.N: $P(900\text{ m}) \approx \underline{89 \text{ bar}}$

Q5. Avantage: source chaude "gratuite" sans utiliser de combustibles fossiles

Inconvénient: difficultés techniques et perturbation du milieu sous-marin

Q6. voir document réponse

$$T_c = 13.0^\circ\text{C}$$

$$P_c = 120 \text{ bar}$$

$$Q7. T_{\text{vap HP}} \approx 22^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{vap BP}} \approx 9^\circ\text{C}$$

$$Q8. \Delta h_{\text{vap HP}} = 1470 - 300 = \underline{1170 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}} \quad \Delta h_{\text{vap BP}} = 1460 - 240 = \underline{1220 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

Q9. Pour le liquide supposé incompressible et indilatable, h et s ne dépendent que de T
 s constant $\Rightarrow T$ constant $\Rightarrow h$ constant. D'où un segment vertical en diagramme (P, T)

$$Q10. T_2 = 22^\circ\text{C} \quad s_2 = 5400 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} \quad h_2 = 1500 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

En 2', l'ammoniac est en phase gazeuse

$$Q11. T_3 \approx 9^\circ\text{C} \quad s_3 \approx 5300 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} \quad h_3 \approx 1420 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Q12 et Q13. voir document réponse

$$Q14. \text{On a: } \Delta h = c_a \Delta T \Rightarrow h_1' - h_1 = c_a (T_1' - T_1) \Rightarrow c_a = \frac{300 - 240}{22 - 9}$$

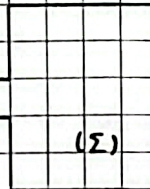
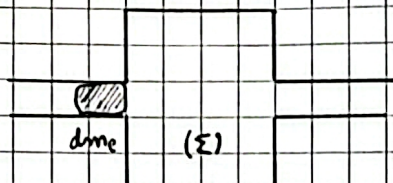
$$\text{A.N: } \underline{c_a = 4,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

Q15. Cette capacité thermique massique est supérieure à celle de l'eau. L'ammoniac permet donc de stocker ou restituer plus d'énergie pour une même variation de température
 Inconvénient: l'ammoniac est toxique

16.

(E)

(t+dt)



$$dms = dme = D_m dt$$

Système ouvert (Σ) : le fluide dans la machine

Système fermé (Σ*) : (Σ)_t + dme = (Σ)_{t+dt} + dms

Premier principe à (Σ*) en négligeant les variations d'énergie cinétique et potentielle;

$$dU_{(\Sigma^*)} = \delta W_{\text{entr non conservative}} + \delta Q$$

$$\begin{aligned} \text{On a : } dU_{(\Sigma^*)} &= U_{(\Sigma)}(t+dt) + U_{dms} - U_{(\Sigma)}(t) - U_{dme} \text{ or } U_{(\Sigma)}(t+dt) = U_{(\Sigma)}(t) \text{ (stationnaire)} \\ &= U_{dms} - U_{dme} \\ &= dms u_s - dme u_e \\ &= D_m dt (u_s - u_e) \end{aligned} \quad (u = \text{énergie interne mique})$$

$$\delta Q = P_R dt$$

$$\begin{aligned} \delta W_{\text{entr non conservative}} &= P_u dt + \delta W_{\text{pression avant}} + \delta W_{\text{pression aval}} \\ &= P_u dt + P_e dme v_e - P_s dms v_s \quad (v = \text{volume mique}) \\ &= D_m dt (P_e v_e - P_s v_s) \end{aligned}$$

$$\text{Donc : } D_m dt (u_s - u_e) = P_R dt + P_u dt + D_m dt (P_e v_e - P_s v_s)$$

$$D_m (u_s + P_s v_s - u_e - P_e v_e) = P_R + P_u \quad \text{or : } h = u + P v$$

$$\text{Finalement : } D_m (h_s - h_e) = P_R + P_u$$

17. Il n'y a pas de parties mobiles dans l'évaporateur : $P_u = 0$

$$\text{Le premier principe industriel donne : } P_{RER} = P_{REV} = \dot{m}_1 (h_2 - h_1)$$

$$\text{A.N. : } P_{RER} = P_{REV} = 504 \text{ kW}$$

Puissance positive car réellement reçue par l'ammoniac

$$18. P_{REC} = \dot{m}_e (h_6 - h_5) = \dot{m}_e c_p (T_6 - T_5)$$

$$19. \text{ Dans l'évaporateur : } P_{REC} = -P_{RER} \text{ car échange entre l'eau et l'ammoniac}$$

$$c_p \dot{m}_e (T_6 - T_5) = \dot{m}_1 (h_1 - h_2)$$

$$\text{Donc : } \dot{m}_e = \dot{m}_1 \frac{h_1 - h_2}{(T_6 - T_5) c_p} \quad \text{A.N. : } \dot{m}_e = 84 \text{ kg s}^{-1}$$

20. On suppose la vanne adiabatique ($P_R = 0$) et sans partie mobile ($P_u = 0$)

Premier principe industriel : $h_5 = h_6$ La détente est isenthalpique

$$21. \text{ Loi des nœuds pour le débit mique en régime stationnaire : } \dot{m}_3 = \dot{m}_1 + \dot{m}_2$$

$$\text{A.N. : } \dot{m}_3 = 0,45 \text{ kg s}^{-1}$$

Q 22. Il n'y a pas de partie mobile dans le condenseur : $\dot{P}_v = 0$

Premier principe industriel : $\dot{P}_{C,R} = \dot{m}_3 (h_4 - h_3)$ A.N. : $\dot{P}_{C,R} = -53 \text{ kW}$

$\dot{P}_{C,v} = \dot{m}_1 (h_4 - h_3)$ A.N. : $\dot{P}_{C,v} = -472 \text{ kW}$

$\dot{P}_C < 0$: la puissance est fournie par l'ammoniac à l'eau froide

Q 23. On a : $\dot{P}_{ef} = \dot{m}_e (h_3 - h_7) = \dot{m}_e c_e (T_8 - T_7)$ $\dot{P}_{ef} = -\dot{P}_{C,R} \Rightarrow T_8 = 6.6^\circ \text{C}$

Q 24. La détente dans la turbine est isentropique donc adiabatique : $\dot{P}_R = 0$

Premier principe industriel : $\dot{P}_{T,v} = \dot{m}_1 (h_3 - h_2)$ A.N. : $\dot{P}_{T,v} = -32 \text{ kW}$

$\dot{P}_{T,v} < 0$: l'ammoniac fournit réellement du travail au milieu extérieur

Q 25. La pompe fonctionne de façon adiabatique : $\dot{P}_R = 0$

Premier principe industriel : $\dot{P}_{P,R} = \dot{m}_3 (h_1 - h_4)$ A.N. : $\dot{P}_{P,R} = 0 \text{ kW}$

$\dot{P}_{P,v} = \dot{m}_1 (h_1 - h_4)$ A.N. : $\dot{P}_{P,v} = 0 \text{ kW}$ car $h_1 = h_4$

Q 26. Pour cette machine motrice :

$$\eta = \frac{\text{grandeur utile}}{\text{grandeur coûteuse}} = \frac{|\dot{P}_{T,v}|}{\dot{P}_{R,E,v}}$$

A.N. : $\eta = 6\%$

Q 27. Les transformations supposées isentropiques ne sont en réalité pas réversibles. Cela diminue le rendement.

DOCUMENT RÉPONSE 5

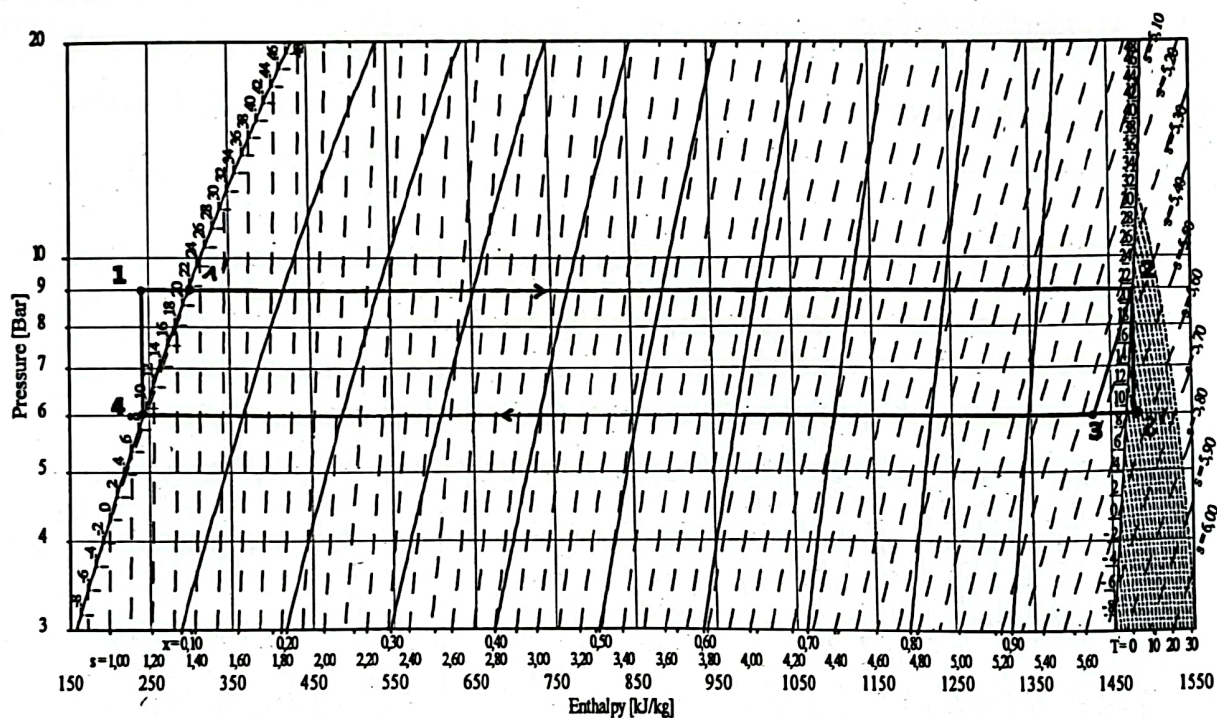
Point i	$T_i (^\circ \text{C})$	$P_i (\text{bar})$	x_i	$h_i (\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1})$	$s_i (\text{kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1})$
1	12	9	0	240	1,15
1'	22	9	0	300	1,3
2	22	9	1	1500	5,4
2'	12	6	1	1500	5,5
3	9	6	0,97	1420	5,3
4	9	6	0	240	1,2

Ne rien écrire

dans la partie barrée

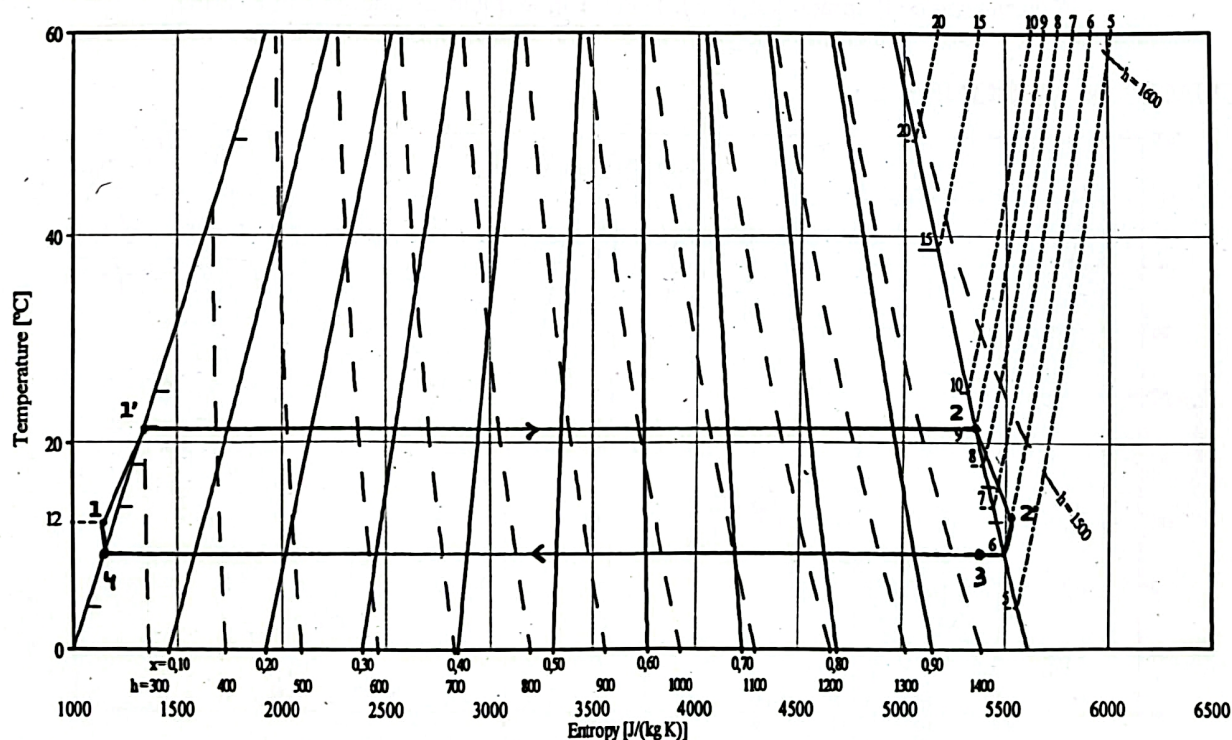
P069-DR/2024-03-27 14:45:35

DOCUMENT RÉPONSE 3



Agrandissement d'une partie du diagramme de l'ammoniac (P, h). DTU, Department of Energy Engineering, s en ($\text{kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$), v en $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, T en $^{\circ}\text{C}$, M.J. Skovrup & H.J.H Knudsen (23-10-03).

DOCUMENT RÉPONSE 4



Agrandissement d'une partie du diagramme de l'ammoniac (T, s). DTU, Department of Energy Engineering, h en $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, v en $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, p en bar, M.J. Skovrup & H.J.H Knudsen (23-10-03).