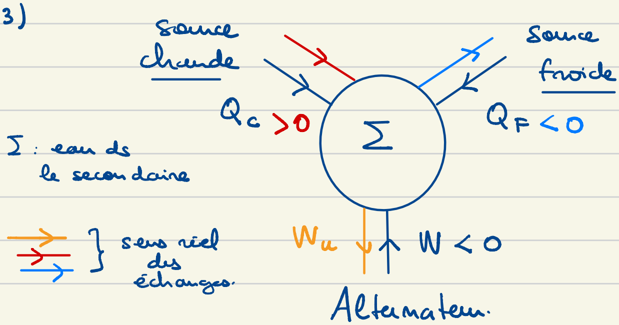
Exo 4. Centrale nucléaire.

1) L'eau dans le circuit primaire est sous forme liquide.
Elle est maintenue sous haute pression afin d'éviter qu'elle ne se vaporise dans le réacteur.

2) Le rendement max. est le rendement de Carnot : $\eta_c = 1 - \frac{T_F}{T_C}$
→ le rendement réel η est égal à 60% du rendement de Carnot : $\eta = 0{,}6\, \eta_c$ //

A.N. $\eta = 0{,}29$. //

3)



$$\underbrace{Q_c}_{>0} = \underbrace{\Phi_c}_{>0} \Delta t$$

$$\underbrace{Q_F}_{<0} = \underbrace{\Phi_F}_{<0} \Delta t$$

$$|W| = \underbrace{W_u}_{>0} = \underbrace{P}_{>0} \Delta t$$

D'après l'énoncé, l'élévation de température de l'eau prélevée dans le fleuve est donnée par :

$$T_s - T_e = \frac{\Phi}{\rho_e c_e D_v}$$ avec Φ la puissance thermique cédée par Σ.

$$\Rightarrow \Phi = -\Phi_F > 0$$

Il faut relier Φ_F au rendement η de la centrale, et à la puissance P fournie.

Rendement : $\eta = \dfrac{|W|}{Q_c} = \dfrac{W_u}{Q_c} = \dfrac{P \cancel{\Delta t}}{\Phi_c \cancel{\Delta t}}$

1er principe à Σ : $W + Q_c + Q_F = 0 \Rightarrow Q_F = -Q_c - W$

$$= -Q_c + W_u$$

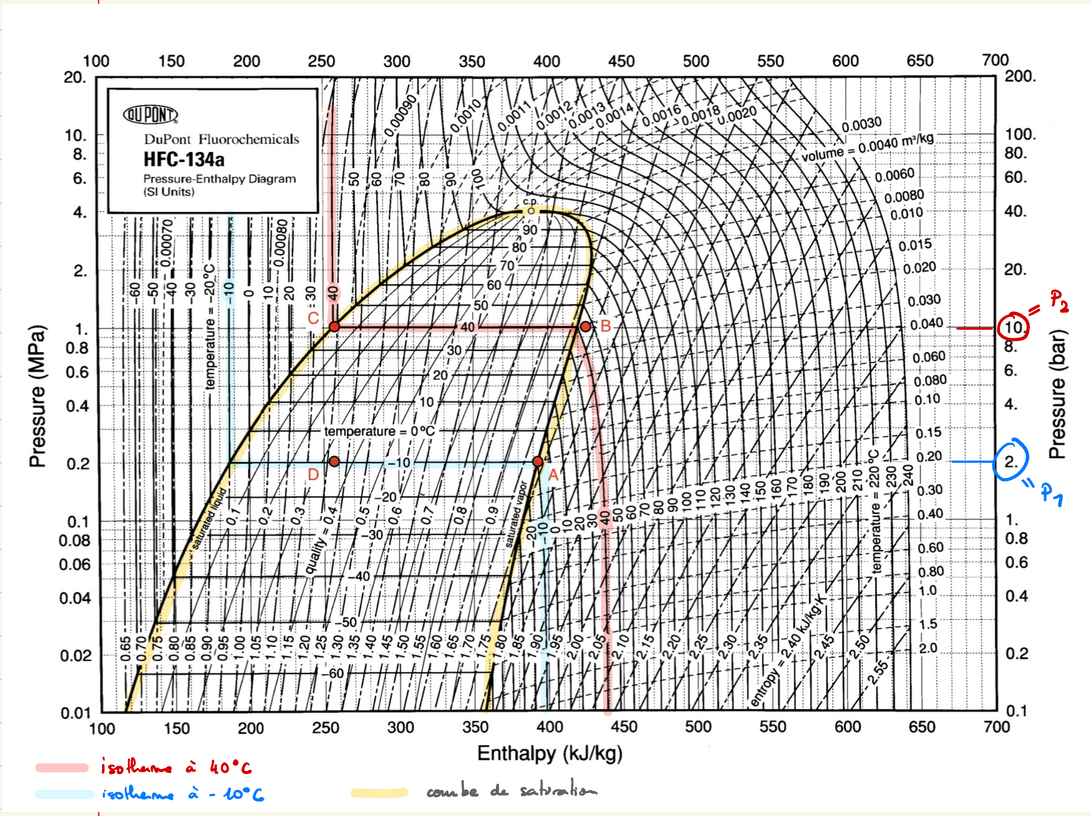
$$\Phi_F \cancel{\Delta t} = -\Phi_c \cancel{\Delta t} + P \cancel{\Delta t}$$

$$\Rightarrow \Phi_F = -\frac{P}{\eta} + P = P\left(1 - \frac{1}{\eta}\right)$$

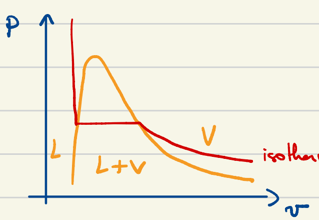
Finalement : $T_s - T_e = \left(\dfrac{1}{\eta} - 1\right) \dfrac{P}{\rho_e c_e D_V}$ //

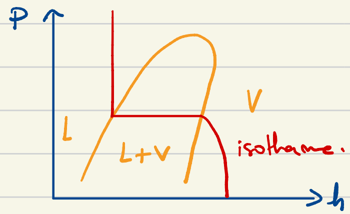
A.N. $T_s - T_e = 0,95 \text{ K}$ /

Exo 4.



L'allure du diagramme enthalpique ressemble à celle du diagramme de Clapeyron.



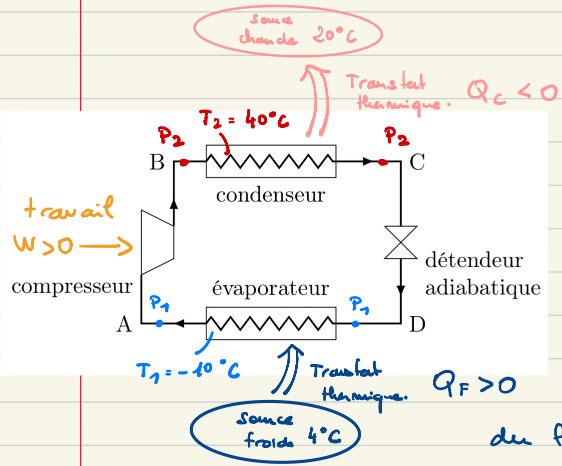


Sous la courbe de saturation, les isothermes sont horizontales ($P = P_{sat}$)

1) On lit les températures de changement d'état sur le diagramme.

D → A : <u>évaporation isobare</u> à $P_1 = 2$ bar, ce qui correspond à l'isotherme $\underline{T_1 = -10°C}$. (horiz. sous la courbe de saturation).

B → C : en 2 étapes : refroidissement isobare à $P_2 = 10$ bar (du point B jusqu'à la courbe de rosée) puis <u>liquéfaction isobare</u> à $P_2 = 10$ bar (jusqu'au point C), ce qui correspond à l'isotherme $\underline{T_2 = 40°C}$ (horiz. sous la courbe de saturation)



Les températures de changement d'état sont choisies pour que le transfert thermique ait lieu dans le bon sens dans l'évaporateur (transfert thermique de la source froide <u>vers</u> le fluide frigorigène) et dans le condenseur (transfert thermique du fluide frigorigène <u>vers</u> la source chaude).

2) Calcul du cours : $e = \dfrac{Q_F}{W}$. or $W = -Q_F - Q_C$

1er principe (cycle).

$$\Rightarrow e = -\frac{Q_F}{Q_F + Q_C} = \underline{-\frac{1}{1 + Q_C/Q_F}}$$

3) Pour calculer Q_F et Q_C on applique le 1er principe au fluide frigorigène pour les transfos BC et DA.

Ce sont des transfo <u>isobares</u> :

<u>BC</u> : $\Delta H_{BC} + \underbrace{\cancel{\Delta E_{c,macro,BC}}}_{=0} = Q_c + \underbrace{\cancel{W'_{BC}}}_{=0}$

(on néglige les variations d'énergie cinétique macro).

(pas de travail autre que celui des forces de pression).

$\Rightarrow Q_c = \Delta H_{BC} = m\,(h_c - h_B)$

1 kg

à lire sur le diagramme.

$h_B = 425 \text{ kJ.kg}^{-1}$

$h_c = 257 \text{ kJ.kg}^{-1}$

<u>AN</u> : $Q_c = -168$ kJ.

DA : $\Delta H_{DA} + \underbrace{\cancel{\Delta E_{c,macro,DA}}}_{=0} = Q_F + \underbrace{\cancel{W'_{DA}}}_{=0}$

$\Rightarrow Q_F = \Delta H_{DA} = m\,(h_A - h_D)$

1 kg

à lire sur le diagramme.

$h_D = 257 \text{ kJ.kg}^{-1}$ $(= h_c)$

$h_A = 392 \text{ kJ.kg}^{-1}$

<u>AN</u> : $Q_F = 135$ kJ.

$$e = -\frac{1}{1 - \frac{168}{135}} \rightarrow \underline{e = 4{,}1.}$$

Comparons à l'efficacité de Carnot pour une machine fonctionnant entre $T_F = 4°C = 277,15\ K$ (temp. source froide) et $T_C = 20°C = 293,15\ K$ (temp. source chaude).

$$\Rightarrow e_C = \frac{T_F}{T_C - T_F} = \frac{277,15}{16} = \underline{17}.$$

bien supérieure à l'efficacité trouvée.

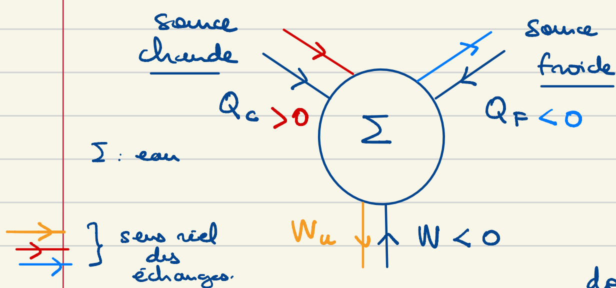
(les changement d'état sont irréversibles, à cause d'un très grand écart de temp. entre le fluide et les thermostats).

Exo 3

1) Le cycle est parcouru dans le sens horaire ; c'est donc un cycle moteur.

Le travail fourni (positif) est égal à l'aire du cycle.

2) Rendement d'un moteur cyclique ditherme :



$$\eta = \frac{|W|}{Q_c}$$

or $W + Q_F + Q_c = 0$

donc $|W| = -W = Q_F + Q_c$

$$\Rightarrow \eta = 1 + \frac{Q_F}{Q_c}$$

avec Q_F le transfert thermique reçu pendant la transfo $I \to J$ (au contact de la source froide à T_F).

et Q_c ______________________________ __________ $K \to L$ (______________________________ chaude à T_c).

3) Σ : K (liq. saturant à T_c (masse m)) $\xrightarrow[\text{isobare et isotherme}]{\text{vaporisation}}$ L (vap. saturante à T_c (masse m))

1er principe :

$$m \, \Delta h_{vap, T_c} = Q_c$$
$$\parallel$$
$$m \, T_c \, \Delta s_{vap, T_c}$$

$$I \xrightarrow[\text{isobare / isotherme}]{\text{liquéfaction partielle}} J$$

I : éq. liq/vap — éq. liq/vap.

Fraction massique x_I de vapeur (masse m) — Fraction massique x_J de vapeur (masse m)

1er principe : $Q_F = \underbrace{m\,(x_I - x_J)}_{\text{masse de vapeur se liquéfiant.}}\,\Delta h_{liq,T_F}$

$$= -m\,(x_I - x_J)\,\Delta h_{vap,T_F}$$

$$= -m\,(x_I - x_J)\,T_F\,\Delta s_{vap,T_F}$$

donc $$\frac{Q_F}{Q_C} = (x_J - x_I)\,\frac{T_F}{T_C}\,\frac{\Delta s_{vap,T_F}}{\Delta s_{vap,T_C}}$$

4) On exploite le fait que les transformations adiab. réversibles (LI et JK) càd isentropiques :

$\Delta S_{LI} = 0$ et $\Delta S_{JK} = 0$. On ne peut pas exploiter la loi de Laplace à cause des changements d'état. On écrit alors : $\Delta S_{LI} = m\,(s_I - s_L)$ donc $s_I = s_L$.

Or $s_I = s_A + x_I\,\Delta s_{vap,T_F}$ donc $s_L = s_A + x_I\,\Delta s_{vap,T_F}$.

De même $\Delta S_{JK} = m\,(s_K - s_J)$ donc $s_K = s_J$.

Or $s_J = s_A + x_J\,\Delta s_{vap,T_F}$ donc $s_K = s_A + x_J\,\Delta s_{vap,T_F}$

Alors : $(x_J - x_I)\,\Delta s_{vap,T_F} = s_K - s_L = -\Delta s_{vap,T_C}$!

Finalement : $\frac{Q_F}{Q_C} = -\frac{T_F}{T_C}$!

et $\eta = 1 - \frac{T_F}{T_C}$; le rendement de Carnot.

4) $e = \frac{Q_F}{W} = -\frac{Q_F}{Q_F + Q_C} = -\frac{1}{1 + \frac{Q_C}{Q_F}}$

$Q_C = Q_{LK} = -Q_{KL}$

$Q_F = Q_{JK} = -Q_{IJ}$