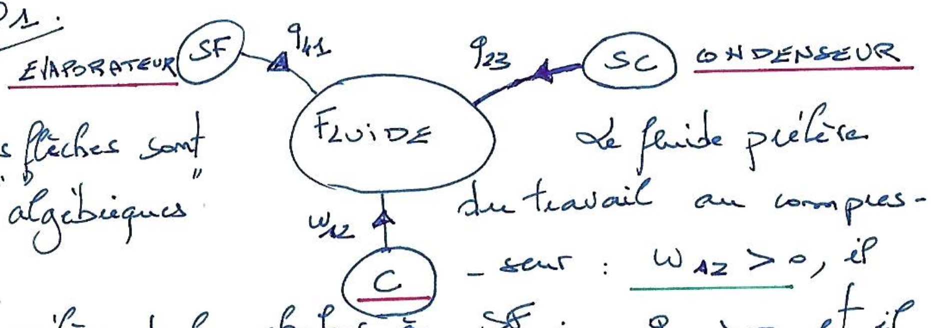
CCP 2017 PSI

Machine frigorifique.

P1.



R: les flèches sont "algébriques"

Le fluide prélève du travail au compresseur : $w_{12} > 0$, il prélève de la chaleur à SF : $q_{41} > 0$ et il cède de la chaleur à SC : $q_{23} < 0$.

Q2. • Dans le condenseur, $2 \to 3$, le fluide cède de la chaleur à la source par refroidissement et liquéfaction. Il est à une température supérieure à T_{SC}.

• Dans l'évaporateur, $4 \to 1$, il prélève de la chaleur par échauffement et vaporisation, il est à $T < T_{SF}$.

Q.3.
- SF : intérieur du réfrigérateur
- SC : Pièce où se trouve le réfrigérateur.

Q.4. Le débit est la quantité de masse qui traverse une section par unité de temps : c'est la masse contenue dans le cylindre de base la section et de longueur $v \times 1$ (en s), soit $D_m = \mu v S$.

Q.5. En régime permanent $D_m = \text{CTE}$, comme $S = \text{CTE}$ d'après le texte, $\mu v = \text{CTE}$ donc si μ_1 est minimale, v_1 est maximale.

Q.6. Si la vitesse maximale est $1\,\text{ms}^{-1}$, le plus grand $\Delta\left(\frac{1}{2}v^2\right)$ possible vaut $\frac{1}{2}1^2 = 0{,}5\ \text{J kg}^{-1}$. Or Δh_{12} vaut (lecture du diagramme) environ $50\ \text{kJ kg}^{-1}$, soit un rapport 10^5 entre les 2 grandeurs, d'où la possibilité de négliger les $\Delta\left(\frac{1}{2}v^2\right)$.

Q.7. Pour avoir un terme $\Delta(gz)$ de l'ordre du kJ kg^{-1}, il faudrait Δz de l'ordre de 100 m ... et cela donnerait 2% de Δh_{12}.

Q.8. On lit $T_1 = -20°C$ et $T_{sat}(P_{bp}) = -30°C$

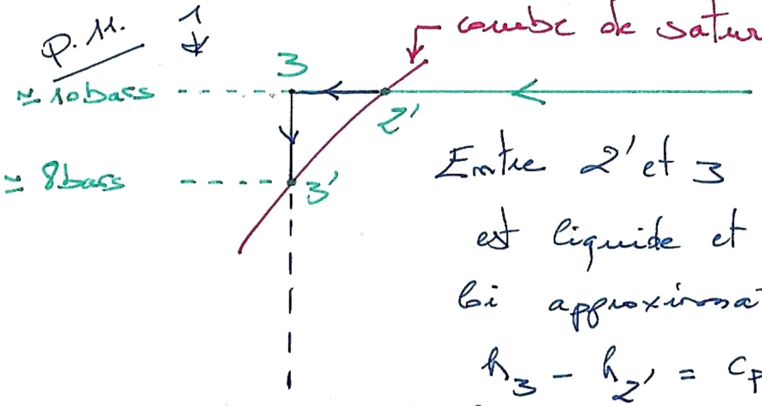
D'où $T_1 - T_{sat} = +10°C$

Q.9 De même, $T_3 - T_{sat}(P_{hp}) = -10°C$

Q.10. Le 1er ppe industriel s'écrit

$\Delta h = w + q$; ici $w = 0$ (pas de pièce mobile) et $q = 0$ (calorifugeage) et $\Delta h = 0$

Q.11. 1*



Entre 2' et 3 le fluide est liquide et suit la loi approximative :

$$h_3 - h_{2'} = c_p(T_3 - T_{2'})$$

Or $h_3 \simeq 242\ \mathrm{kJ\,kg^{-1}}$, $h_{2'} \simeq 255\ \mathrm{kJ\,kg^{-1}}$, $c_p = 1\ \mathrm{kJ\,kg^{-1}\,K^{-1}}$ et $T_{2'} = 40\,°C$

il vient $T_3 = \dfrac{h_3 - h_{2'}}{c_p} + T_{2'} = 27\,°C$.

2* D'autre part en 3' on lit $T_{3'} = 30\,°C$

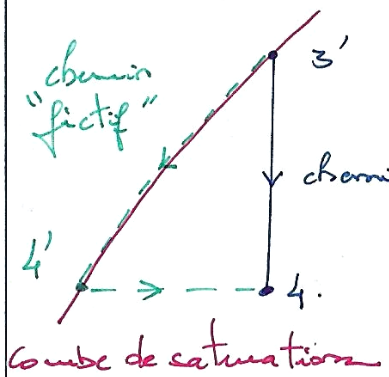
l'écart de T est faible.

Et de plus Δh à même T vaut $\Delta(P/\rho)$; comme un liquide est incompressible en première approximation (surtout entre 8 et 10 bars...), $\Delta(P/\rho) = \frac{1}{\rho}\Delta P$

soit $\Delta h = \dfrac{2\cdot10^5}{1{,}3\cdot10^3} \simeq 155\ \mathrm{J\,kg^{-1}}$ ce qui est

tout à fait négligeable devant $h_3 = 242\ \mathrm{kJ\,kg^{-1}}$

Q.12. Il faut trouver un chemin amenant de 3' à 4 sur lequel Δh est calculable.



1: $\Delta h_{3'4'} = c_p(T_{4'} - T_{3'})$: le fluide "tout liquide" passe de $T_{3'}$ à $T_{4'}$.

2: $\Delta h_{4'4} = \Delta x_{vap} L_{vap}(T_4)$: Vaporisation de Δx_{vap} de fluide.

Comme h est une fn d'état, Δh est indépendant du chemin suivi.

D'où $\Delta h = c_p(T_{4'} - T_{3'}) + \Delta x_{vap} \cdot L_{vap}(T_4)$

or $T_{4'} = T_4$ (palier de changement d'état)

et $T_{3'} \simeq T_3$, d'où $\Delta h = c_p(T_4 - T_3) + L_{vap}(T_4)\Delta x_v$

Q.13. On mesure $L_{vap}(T_4) \simeq 215\ \mathrm{kJ\,kg^{-1}}$.

Alors, $(T_4 - T_3) = \dfrac{\Delta h}{c_p} - \Delta x_{vap} L_{vap}(T_4)$.

Or $\Delta h = 0$ (isenthalpe : verticale 3→4) et il faut lire Δx_{vap} : $\Delta x_{vap} \simeq 0{,}36$. D'où,

$T_4 - T_3 \simeq -77°C$. La lecture donne $-60°C$.
C'est le bon ordre de grandeur...

Q15. Il faut qu'elle soit adiabatique : $S_e = 0$, donc il faut négliger les échanges thermiques au niveau du compresseur.
Il faut que $S_{créée} = 0$ donc que les frottements internes au compresseur soient négligés (sources d'irréversibilité).

Q.16. . $e_{m\,utile}$ = énergie prélevée à la SF,
soit $q_f = e_{m_u} = h_1 - h_4 = 145\ kJ\,kg^{-1}$.

. $e_{m\,coûteuse}$ = énergie fournie par le compresseur $w_{12} = e_{m_c} = h_2 - h_1 = 440 - 385$
$e_{m_c} = \mathbf{55\ kJ\,kg^{-1}}$

. On en tire $e = 2{,}6$.

Q17. $\begin{cases} w + q_f + q_c = 0 \\ q_c/T_c + q_f/T_f = 0 \end{cases}$ $e_c = \dfrac{T_f}{T_c - T_f} = 7{,}4$.
cf. cours de SUP.

. $e_c > e$, ce qui est prévisible :
- les transformations du cycle de Carnot sont réversibles
- les échanges avec la SF et la SC se font de manière isotherme dans le cycle de Carnot ce qui est plus efficace que les échanges isobares avec variation de T au cours de $2 \to 3$ et $4 \to 1$.

• Sources d'irréversibilités :
- Déperditions énergétiques lors du transport du fluide et au niveau des éléments
- Frottements mécaniques au niveau de la détente

Q18. Pour une transformation adiabatique non isentropique $S_e = 0$ mais $S_{créée} \neq 0$ et > 0.
donc $\Delta s = s_{créée} > 0$.
Donc soit le point 1 est déplacé vers la gauche ou — si l'état initial de la compression est inchangé — le point 2 est décalé vers la droite.

Q19. Le sous refroidissement amène 2' (cf. Q11.) en 3 et fait gagner environ $15\ kJ\,kg^{-1}$ sur $4 \to 1$ par rapport à $4''\to 1$, 4'' est à la verticale de 2'.
On passe de 2,3 à 2,6 soit 13% d'↗ de l'efficacité.