

I-1. Questions préalables sur le principe de fonctionnement d'une machine frigorigraphique.

1.
 - $W_{12} > 0$ car le fluide reçoit du travail lors de sa compression
 - $q_{23} < 0$ car le gaz se refroidit puis se liquefie et se refroidit cédant de la chaleur à l'extérieur.
 - $q_{41} > 0$ car le liquide se vaporise puis le gaz se réchauffe en prélevant de la chaleur à l'intérieur du réfrigérateur.
- 2- Dans le condenseur, le fluide cède de la chaleur à la source chaude donc sa température est supérieure à celle de la source chaude.
Dans l'évaporateur, c'est l'inverse : le fluide reçoit de la chaleur de la source froide donc sa température est inférieure à celle de la source froide.
- 3- Dans le cas d'un réfrigérateur =
 - source froide = intérieur du réfrigérateur
 - source chaude = pièce.

I-2- Questions préalables sur l'expression mathématique du premier principe.

- 4- La masse qui traverse une section S pendant dt est la masse contenue dans $\Delta V = S \times v \cdot dt$.
D'où $\Delta m = \mu \times S \cdot v \cdot dt$
et le débit massique est $D_m = \frac{\Delta m}{dt}$ soit $D_m = \mu S v$
- 5- En régime stationnaire, le débit massique est identique en tout point de l'installation.
Si la section S est également constante alors $v = \text{cste}$

Juste avant la compression, v est minime $\Rightarrow v_{\text{maximale}}$ (2)

6. $|\Delta e_{\text{max}}| = \frac{1}{2} v_{\text{max}}^2 = 0,5 \text{ J}$

• $\Delta h_{12} = h_2 - h_1 = 442 - 387 = 55 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

\Rightarrow lors de la compression, on peut négliger Δe devant Δh

7. Pour que $g \Delta z$ et Δh soient de même ordre de grandeur il faut $\Delta z = \frac{\Delta h}{g} \approx 5500 \text{ m.}$

Cette différence de dénivellé ne correspond pas du tout aux dimensions du système de réfrigération où Δz est de l'ordre de quelques cm dans le compresseur.

D'où $\Delta h = w + q$ dans le compresseur.

Cette expression est utilisée dans la suite pour tous les éléments de l'installation.

I-3. Lecture du diagramme et entretien de la vaporisation.

8. $T_s = -20^\circ\text{C}$ }
 $T_{\text{sat}}(P_{bp}) = -30^\circ\text{C}$ } $T_1 - T_{\text{sat}}(P_{bp}) = 10^\circ\text{C}$ surchauffe

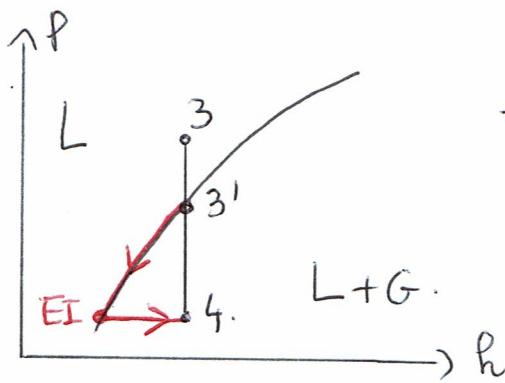
9. $T_3 = 30^\circ\text{C}$ }
 $T_{\text{sat}}(P_{hp}) = 40^\circ\text{C}$ } $T_3 - T_{\text{sat}}(P_{hp}) = -10^\circ\text{C}$ sans refroidissement

10. Dans le détendeur: $\Delta h = w + q$
 $w = 0$ $q = 0$ car détente rapide
pas de partie mobile. Les fers thermiques n'ont pas le temps de se faire.
 $\Rightarrow \Delta h = 0$

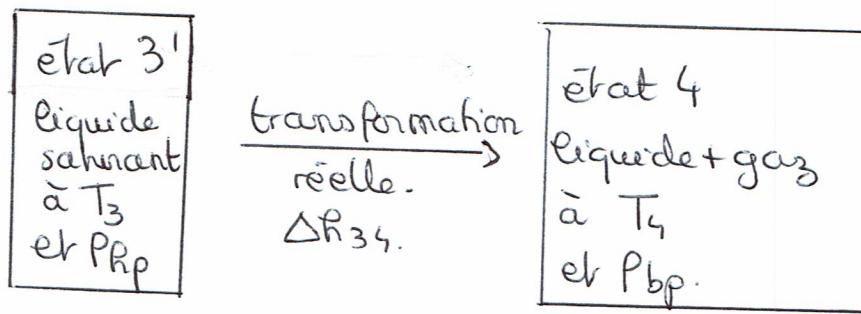
détente isentropique.

11- Voir à la fin des corrigé

12- On s'intéresse à la transformation de 3' (point sur la courbe de saturation) à 4.



h est une fonction d'état
 $\Rightarrow \Delta h_{3'4}$ peut être calculé
 en imaginant une
transformation fictive
 permettant de passer de
 $3'$ à 4



$$\Delta h_{3'4} = c_p(T_4 - T_3)$$

refroidissement
du liquide de
 T_3 à T_4

↑ vaporisation d'une
fraction Δx_{vap} du
système à T et P constantes

$$\Delta h_{EI4} = \Delta x_{vap} L_{vap}(T_4)$$

état intermédiaire
 liquide saturant
 à T_4 et P_{bp}

d'où

$$\Delta h_{34} = c_p(T_4 - T_3) + \Delta x_{vap} L_{vap}(T_4)$$

13. $L_{vap}(T_4) = \bar{h}_{vap}(T_4) - \bar{h}_{fg}(T_4) = 378 - 162 = 216 \text{ kJ.kg}^{-1}$

$$\Delta x_{vap} = 0,36$$

$$\Delta h_{3'4} = 0$$

$$\text{donc } (T_4 - T_3) = - \frac{\Delta x_{vap} L_{vap}(T_4)}{c_p} = \frac{-0,36 \times 216 \cdot 10^3}{10^3}$$

$$\boxed{(T_4 - T_3) = -78 \text{ K.}} \quad \text{et graphiquement } (T_4 - T_3) = -60 \text{ K}$$

I.4. Hypothèses simplificatrices et efficacité de la machine.

14- L'échange thermique est isobare si on néglige les pertes de charge qui se traduisent par une chute de pression le long de l'écoulement (programme PSI). Cette chute de pression est due au frottement du fluide sur les parois.

15- On modélise la compression par une isentropique en considérant qu'elle se fait de façon =
 • adiabatique \Leftrightarrow compression rapide
 • réversible. \Leftrightarrow frottements négligés.

16- $e = \frac{\text{transfert thermique avec la source froide}}{\text{travail fourni lors de la compression}}$.

$$e = \frac{q_{41}}{W_{12}} = \frac{\Delta h_{41}}{\Delta h_{12}} = \frac{387 - 242}{442 - 387} = \frac{145}{55} = 2,6.$$

17- • Cycle de Carnot = cycle réversible avec 2 isothermes et 2 isentropiques.

• 1^{er} principe appliqué au fluide sur un cycle: $\Delta U = 0 = W_{\text{tot}} + Q_{\text{ch}} + Q_{\text{f}}$
 • 2nd

$$\dots : \Delta S = 0 = \text{S réel} + \frac{Q_{\text{ch}} + Q_{\text{f}}}{T_c - T_f}$$

$$\bullet e = \frac{Q_f}{W_{\text{tot}}} = - \frac{Q_f}{Q_f + Q_c} = + \frac{\frac{T_f}{T_c} Q_c}{-\frac{T_f}{T_c} Q_c + Q_c} = \frac{T_f}{T_c - T_f}$$

$$\bullet \text{AN } e = \frac{273 - 15}{20 + 15} = 7,4. > 2,6. \text{ car transformations irréversibles en réalité.}$$

• Scories d'irréversibilité:

* transferts thermiques.

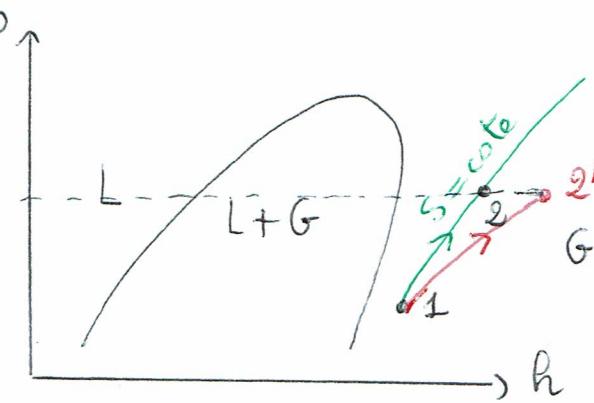
Dans le cycle de Carnot, les transferts thermiques sont isothermes le fluide et la source sont à la même température.

Or ici, par exemple pas de transfert avec la source froide:

$T_f = -15^\circ\text{C}$ et $T_{\text{fluide}} = T_4 = -30^\circ\text{C} \Rightarrow$ flux thermique de l'intérieur du réfrigérateur vers le fluide qui se vaporise.

* frottements entre le fluide et les éléments de l'installation.

18-



(5)

- $\Delta s_{12'} = \underbrace{s_{\text{cée}}}_{12'} + \underbrace{s_{\text{adiab}}}_{\geq 0} - s_1$

(adiabatique car compression rapide)

On a donc pour une transformation réelle irréversible
 $|\Delta s_{12'}| > 0$.

- Si on ne modifie pas la position de 1 alors la compression sera représentée par une courbe à droite de l'isentropique (ou alors 2 inchangé de 1 à gauche de l'isentropique mais on veut que dans l'état 1 le fluide soit gazeux pour préserver le compresseur).

- $e = \frac{Q_{41}}{W_{12'}}$ avec $W_{12'} = \Delta h_{12'} > W_{12}$
 et Q_{41} inchangé

\Rightarrow l'efficacité est plus faible que dans le cas d'une compression réversible (cas idéal).

- 19- le sous refroidissement permet d'augmenter $Q_{41} = \Delta h_{41}$ (donc l'efficacité) car $h_3 = h_4$ (dérente isenthalpique)

- 21- En utilisant l'approximation $\Delta h = c_p \Delta T$ pour une phase condensée alors, lors du sous refroidissement:

$$\Delta T = \frac{\Delta h}{c_p} = \frac{242 - 256}{1} = -14 \text{ K} \Rightarrow T_3 = 40 - 14 = 26^\circ \text{C}$$

- Si on considère que la dérente des liquides de 3 à 4 la courbe de saturation est isotherme alors $\mu(T) = \text{cste}$ et $\Delta h' = \frac{\Delta P}{\mu} = \frac{(78 - 10)10^5}{1,3 \cdot 10^3} = 170 \text{ J kg}^{-1} = 0,17 \text{ kJ kg}^{-1}$
 $\Rightarrow \Delta h' \ll h_3 = 242 \text{ kJ kg}^{-1} \Rightarrow \underline{\text{isotherme} = \text{isenthalpique}}$