Meilleure note :

Moyenne :

Médiane :

Écart-type :

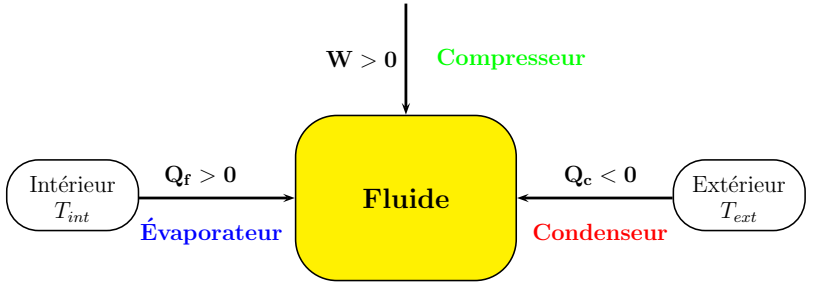
Physique en cuisine

Extrait de CCINP ATS 2018

I Quelques aspects thermodynamiques du réfrigérateur à compresseur

I A. Principe de fonctionnement du réfrigérateur à compresseur

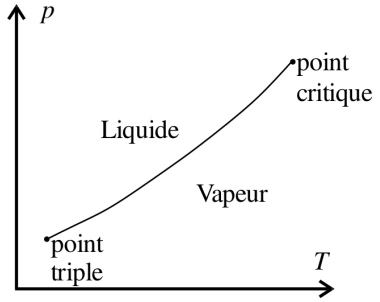
Petit schéma qui résume les informations données par le document :



1. Compresseur : W, le compresseur consomme de l'énergie sous forme électrique.
   Condenseur : Q_1, transfert thermique avec l'extérieur.
   Évaporateur : Q_2, transfert thermique avec l'intérieur.
2. $Q_1 < 0$: lors de la liquéfaction le fluide fournit un transfert thermique à l'extérieur.
   $Q_2 > 0$: lors de l'évaporation le fluide prélève un transfert thermique à l'intérieur.
3. Pour une transformation adiabatique le transfert thermique reçu par le gaz parfait est nul ($Q = 0$). Ce dernier reçoit un travail positif ($W > 0$),

donc, d'après le premier principe de la thermodynamique son énergie interne augmente ($\Delta U = W + Q > 0$). L'énergie interne d'un gaz parfait ne dépend que de sa température (première loi de Joule), on a $\Delta U = C_V \Delta T > 0$. Donc la température croît lors de cette compression.

4. Allure du diagramme $P(T)$ pour le seul équilibre liquide / gaz :



Une liquéfaction peut s'observer à « température élevée » si cette température est inférieure à la température T_C du point critique.

5. Le coefficient de performance, noté CoP, du réfrigérateur ou efficacité est le rapport entre l'énergie utile (ici Q_2) et l'énergie coûteuse (W) :

$$\boxed{CoP = \frac{Q_2}{W}}$$

Le fluide subit des cycles de transformations. Lors d'un cycle $\Delta U = 0$. Or, d'après le premier principe $\Delta U = W + Q_1 + Q_2$. On en déduit que $W = -Q_1 - Q_2$ et

$$\boxed{CoP = -\frac{Q_2}{Q_1 + Q_2}}$$

6. D'après l'inégalité de Carnot de Clausius : $\frac{Q_1}{T_{ext}} + \frac{Q_2}{T_{int}} \leq 0$. On en déduit que $Q_1 \leq -\frac{T_{ext}}{T_{int}} Q_2$ ou $Q_1 \geq \frac{T_{ext}}{T_{int}} Q_2$. On a donc

$$CoP = \frac{Q_2}{-Q_1 - Q_2} \leq \frac{T_{int}}{T_{ext} - T_{int}}.$$

Pour un cycle réversible : $\boxed{CoP_C = \frac{T_{int}}{T_{ext} - T_{int}}}$

7. Application numérique : $\underline{CoP_C = \frac{278}{20} \simeq 14.}$

I B. Étude du cycle du fluide réfrigérant dans un diagramme entropique $T(s)$

On prendra les valeurs suivantes : $P_A = 2,0$ bar, $P_B = 7,0$ bar, $T_A = 5$°C, $T_B = 55$°C et $D_m = 10$ kg.s^{-1}. Une tolérance de ± 2 kJ.kg^{-1} sur la lecture de l'enthalpie massique sera acceptée. Une tolérance de ± 1°C sur la lecture des températures sera acceptée.

8. Cf document réponse.
9. Point A : $T_A = 5$°C et $P_A = 2,0$,
Point B : $T_B = 55$°C et $P_B = 7,0$ bar,
Point C : Entre B et C isobare et liquide saturant en C,
Point D : Entre C et D isenthalpe (h =cste) et entre D et A isobare.
10. Par lecture sur le diagramme entropique, $T_\ell = 27$°C température de liquéfaction.
11. Par lecture graphique : $T_v = -10$°C température de vaporisation.
12. D'après le premier principe industriel en massique, pour la transformation $D \longrightarrow A$:

$$h_A - h_D = q_2 + w_2$$

avec $w_2 = 0$. Soit en puissance :

$$\boxed{P_{th,2} = D_m(h_A - h_D)}$$

AN : $P_{th,2} \simeq 10(405 - 237) \simeq 1,67$ kW.

13. De même, pour la transformation $A \longrightarrow B$, $D_m(h_B - h_A) = P_{th,AB} + P_{meca,AB}$ avec $P_{meca,AB} = P_{meca}$ et $P_{th,AB} = 0$.

$$\boxed{P_{meca} = D_m(h_B - h_A)}$$

AN : $P_{meca} \simeq 10(441 - 405) \simeq 0,36$ kW.

14. Pour la transformation $B \longrightarrow C$, $D_m(h_C - h_B) = P_{th,BC} + P_{meca,BC}$ avec $P_{meca,BC} = 0$ et $P_{th,BC} = P_{th,1}$.

$$\boxed{P_{th,1} = D_m(h_C - h_B)}$$

AN : $P_{meca} \simeq 10(237 - 441) \simeq -2,04$ kW.

15. On constate que $P_{meca} \simeq -(P_{th,1} + P_{th,2})$, qui n'est rien d'autre que le premier principe industriel appliqué au cycle :

$$D_m(h_A - h_A) = 0 = P_{th,1} + P_{th_2} + P_{meca}$$

16. AN : $CoP_{vrai} \simeq \dfrac{1,67}{0,36} \simeq \dfrac{4}{3}\dfrac{3}{1} \simeq 4$

17. On a bien $CoP_{vrai} \leq CoP_C$. L'inégalité est stricte, le cycle a des transformations irréversibles ?

18. Lors d'un processus adiabatique, on peut déterminer, à l'aide du diagramme entropique, le travail massique des forces de viscosité du fluide car $w_f = -\int_{Etatini \longrightarrow Etatfinal} Tds$. Estimer la puissance associée à ces forces de viscosité lors de la compression (pour ce calcul la représentation de la transformation menant de l'état A à B sera linéarisée et donc assimilée à un simple segment reliant les points A et B). Commenter ce dernier résultat.