Refroidissement des bobines génératrices de champ magnétique du LHC

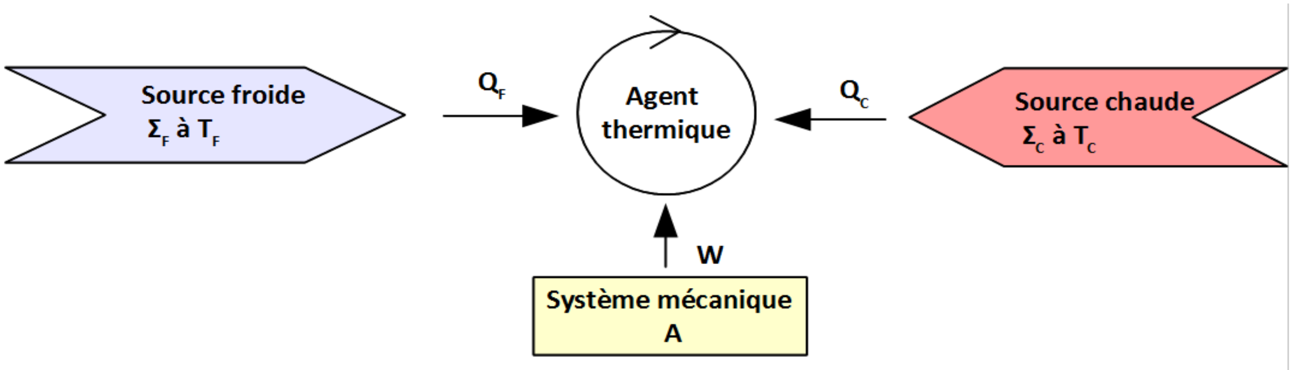
1. Caractéristique d'un réfrigérateur ditherme réversible

1.1. La source froide est l'intérieur du réfrigérateur, la source chaude est l'extérieur.

1.2. Le but de la machine est de refroidir la source froide, celle-ci doit donc recevoir un transfert thermique $-Q_F < 0$ donc $Q_F > 0$. La machine extrait cette énergie de l'intérieur du réfrigérateur et la rejette à l'extérieur , on en déduit que $Q_C < 0$.

Le réfrigérateur est une machine réceptrice donc $W > 0$.

1.3. Schéma de principe:



Au cours d'un cycle , d'après le premier principe appliqué à l'agent thermique: $\boxed{\Delta U = W + Q_F + Q_C = 0}$

1.4. $\boxed{\eta = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie couteuse}} = \frac{Q_F}{W} = -\frac{Q_F}{Q_F + Q_C}}$

1.5. Au cours d'un cycle: d'après le second principe: $\boxed{\Delta S(\text{agent thermique}) = Se + Sc = 0}$ (1) or :

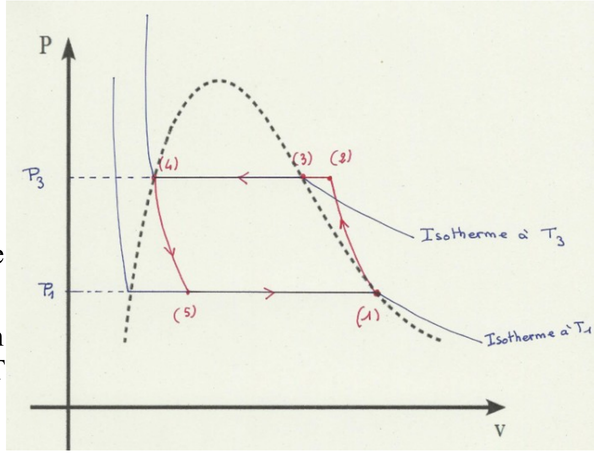
- $S_e = S_{e1} + S_{e2} = \frac{Q_C}{T_C} + \frac{Q_F}{T_F}$
- et dans le cas d'un cycle réversible: Sc = 0 donc d'après (1) Se = 0 d'où : $\boxed{\frac{Q_C}{T_C} + \frac{Q_F}{T_F} = 0}$.

1.6. $e = -\frac{Q_F}{Q_C + Q_F} = -\frac{1}{\frac{Q_C}{Q_F} + 1}$ or de $\frac{Q_C}{T_C} + \frac{Q_F}{T_F} = 0$ on tire $\frac{Q_C}{Q_F} = -\frac{T_C}{T_F}$ d'où $\boxed{\eta = \frac{T_F}{T_C - T_F}}$.

1.7. Application numérique : $\boxed{\eta = \frac{280}{300 - 280} = \frac{280}{20} = 14}$

2. Étude d'un réfrigérateur réel :

2.1. Ci-contre



2.2. On lit $\boxed{x_1=1\,, x_3=1\; et\; x_4=0}$.

2.3. Calcul des températures T₂ et T₃

a) L'entropie massique ne varie pas car la transformation est adiabatique réversible.

b) Entre 1 et 2 la transformation adiabatique réversible est subie par un gaz parfait, on peut appliquer la loi de Laplace en utilisant les variables T et P :

$\boxed{P_1^{1-\gamma}T_1^{\gamma}=P_2^{1-\gamma}T_2^{\gamma}}$ d'où : $\boxed{T_2=T_1\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}}$

c) Application numérique : $\boxed{T_2=263\left(\frac{3,0}{10}\right)^{\frac{-0,3}{1,3}}=263(0,3)^{-0,23}=\frac{263\times4}{3}=88\times4=352\;K}$

d) $\boxed{c_p=\frac{R\gamma}{M(\gamma-1)}}$.

e) Entre l'état 2 et l'état 3, le gaz parfait subit une transformation isobare de T_2 à T_3.

$\boxed{\Delta h_{2\to3}=\frac{R\gamma}{M(\gamma-1)}(T_3-T_2)}$.

f) On peut calculer $\Delta h_{2\to3}$ grâce au tableau de valeurs : $\boxed{T_3=T_2+\frac{\Delta h_{2\to3}\times M(\gamma-1)}{R\gamma}}$.

$\boxed{T_3=352+\frac{(1490-1620).10^3\times17.10^{-3}(0,3)}{8,31\times1,3}=352-130\times0,23\times2=352-60=292\;K}$

2.4. Calcul de x_5 et Q_f

a) L'enthalpie de vaporisation d'un masse m_l de liquide est : $\Delta H=m_l Lv$. En considérant un système de masse unité, ce qui se vaporise entre les états 5 et 1 est $1-x_5$ d'où : $\Delta h_{5\to1}=h_1-h_5=(1-x_5)\,\Delta h_{vap}(T_1)$.

b) $\boxed{x_5=1-\frac{h_1-h_5}{\Delta h_{vap}(T_1)}}$. AN : $\boxed{x_5=1-\frac{1450-320}{1450}=1-\frac{1130}{1450}=1-0,78=0,22}$.

c) Q_f est reçu au niveau de la transformation 5 → 1 . Le premier principe appliqué à l'agent thermique en écoulement dans l'évaporateur donne $m(h_1-h_5)=W_f+Q_f$. Or $W_f=0$ d'où : $\boxed{Q_f=\Delta H_{5\to1}=m(h_1-h_5)}$

2.5. Calcul de l'efficacité η_r du réfrigérateur

a) Le seul organe comprenant des parties mobiles est le compresseur donc le seul travail de compression W_c est sur la transformation 1→2. Le premier principe appliqué à l'agent thermique en écoulement à la compression donne $m(h_2-h_1)=W_c+Q_c$. Or la compression est adiabatique donc $Q_{compression}=0$ d'où : $\boxed{W_c=m(h_2-h_1)}$

b) $\boxed{\eta_r=\frac{Q_f}{W}=\frac{h_1-h_5}{h_2-h_1}=\frac{1130}{170}=\frac{20}{3}=6,7}$.

c) $\boxed{\eta_r<\eta}$, le cycle est irréversible.