

Givrage d'une pompe à chaleur



Question simple

Représenter le schéma modélisant le principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur ou PAC ditherme.

Calculer l'efficacité d'une PAC ditherme réversible entre un air extérieur à 7°C pour chauffer un local à 35°C

Indiquer la variation de l'efficacité lorsque la température extérieure passe de 7°C à 6°C

Question ouverte

- 1) A l'aide du document 1, déterminer l'efficacité réelle de la PAC pour une température extérieure de 7°C. Discuter de son évolution si la température de la source froide est abaissée à 5°C.
- 2) Le document 2 illustre l'impact du givre, qui se forme au niveau de l'évaporateur, sur l'efficacité de la PAC en dessous de 6°C.
 - Proposer une explication qualitative de ce phénomène ainsi que de son impact sur l'efficacité de la PAC illustré sur le document 2.
 - Proposer un modèle simple pour estimer le rapport de puissances thermiques échangée entre le fluide et l'évaporateur avec une couche de givre d'1,0 mm et sans givre $r = P_g/P$ moyennant les données suivantes :

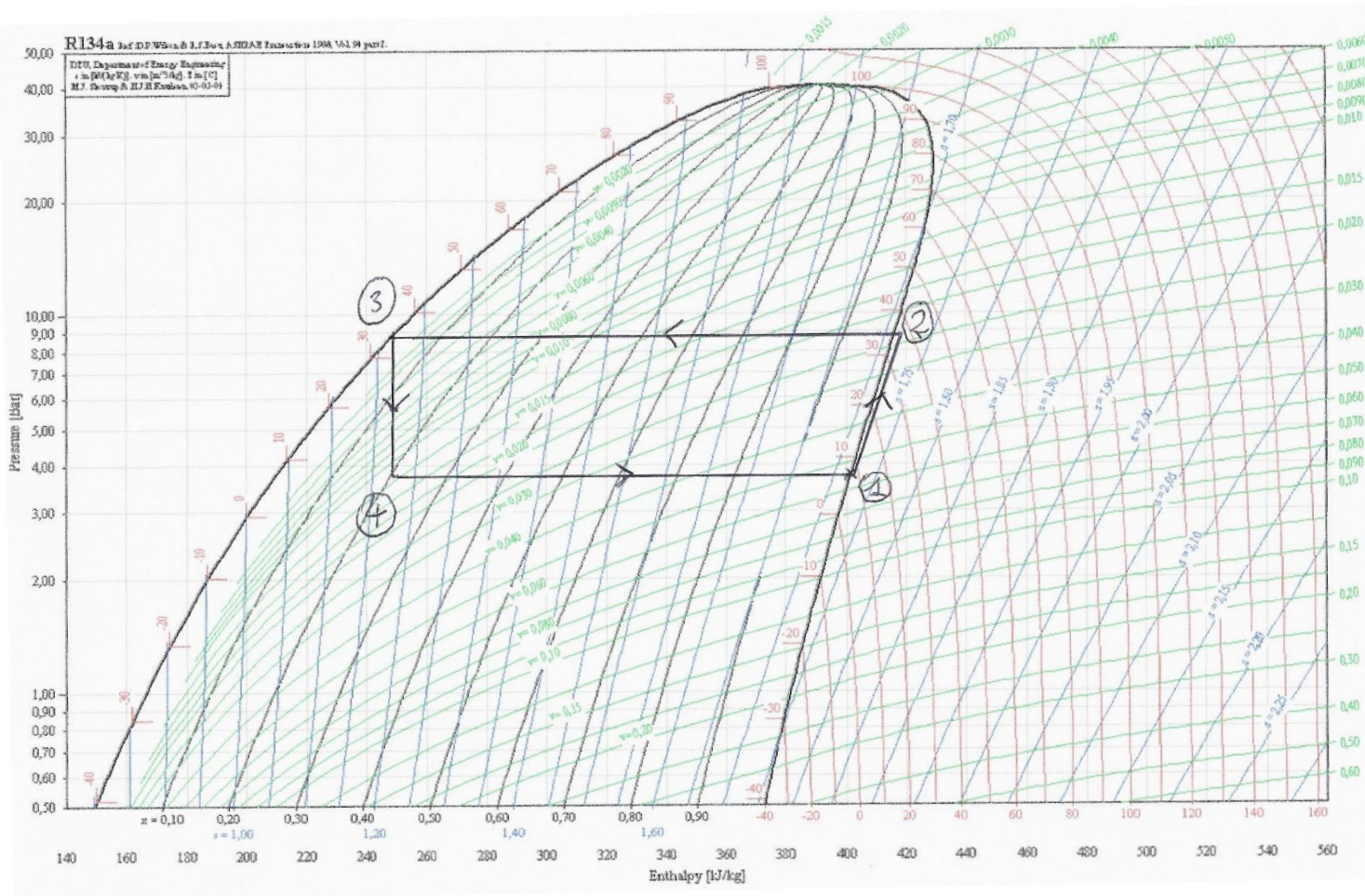
Conductivité thermique du givre : $\lambda_g = 1,0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Coefficient de Newton à l'interface air / évaporateur sans givre : $h_e = 50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

Coefficient de Newton à l'interface air / évaporateur avec givre : $h_g = 20 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

Document 1 : Cycle réel du fluide caloporteur de la PAC

Le fluide caloporteur R134a de la PAC décrit le cycle réel suivant dans le diagramme (P,h) dit de Mollier (P : pression ; h : enthalpie massique). Sur ce diagramme, on peut identifier la courbe de saturation composée de la courbe d'ébullition (liquide saturé, $x = 0$, courbe de gauche) et la courbe de rosée (vapeur saturante sèche, $x = 1$, courbe de droite). On peut également identifier les isotitres, les isothermes et les isentropiques.

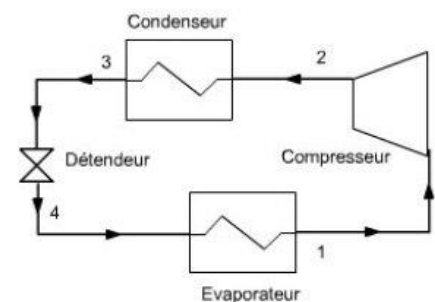


1 → 2 : compression adiabatique et réversible de la vapeur juste saturante

2 → 3 : refroidissement isobare puis liquéfaction totale au contact de la source chaude à une température de 35°C

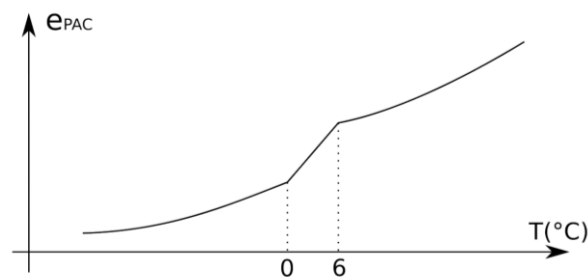
3 → 4 : détente isenthalpique

4 → 1 : vaporisation au contact de la source froide à une température de 7°C



Document 2 : Evolution de l'efficacité de la PAC en fonction de la température extérieure

En-dessous de 6°C, il peut apparaître du givre sur l'évaporateur : l'eau contenue dans l'air extérieur au contact de la surface froide de l'évaporateur peut se condenser pour former une couche de givre. Cela a des conséquences sur l'efficacité de la PAC comme le montre le graphique ci-dessous.



Correction

Question simple

Voir cours. $e_{PAC,réversible} = \frac{T_C}{T_C - T_F}$

AN : $e_{PAC,réversible}(7^\circ C) = 12,5$

$e_{PAC,réversible}(6^\circ C) = 12,0$

L'efficacité d'une PAC diminue lorsque la température de la source froide diminue (pour une même température de source chaude).

Question ouverte

$$1) e_{PAC} = \frac{-\dot{Q}_c}{\dot{W}} = \frac{-q_c}{w_{12}} = \frac{-q_{23}}{w_{12}}$$

Premier principe en système ouvert : $\Delta h = w' + q$

Sur $1 \rightarrow 2$: $\Delta h_{12} = w'_{12} + q_{12}$ la transformation est adiabatique donc $q_{12} = 0$

On en déduit : $w'_{12} = \Delta h_{12} = h_2 - h_1$

Sur $2 \rightarrow 3$: $\Delta h_{23} = w'_{23} + q_{23}$ la transformation s'effectuant en absence de travail utile (pas de pièce mobile dans le condenseur) donc $w'_{23} = 0$

On en déduit : $q_{23} = \Delta h_{23} = h_3 - h_2$

$$\text{Bilan : } e_{PAC} = \frac{-q_{23}}{w_{12}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

AN (lecture des enthalpies massiques sur le diagramme fourni) : $e_{PAC} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} = \frac{420 - 245}{420 - 400} = 8,8$

$e_{PAC} < e_{PAC,réversible}$ ce qui signifie que le cycle ne fonctionne pas de manière réversible.

- 2) **Approche qualitative** : le givre peut se former au niveau de l'évaporateur à des températures basses mais positives (notamment si l'air est très humide) car le fluide caloporteur reçoit sur cette étape (4 à 1) de l'énergie de la part de l'air extérieur, qui se refroidit donc localement d'autant plus, ce qui permet alors l'apparition de givre.

La couche de givre conduit à l'augmentation de la résistance thermique air / fluide caloporteur et diminue donc l'échange thermique entre le fluide caloporteur et l'air extérieur : l'étape $4 \rightarrow 1$ se fait alors beaucoup plus mal, la PAC devient moins efficace comme le montre le graphique du document 2.

Approche quantitative :

$$P = \frac{\Delta T}{R_{th}} = \frac{T_{fluide} - T_{air}}{R_{th}}$$

Sans givre, en considérant que seul l'échange conducto-convectif est à considérer, P_e est donnée par la loi de Newton $P_e = h_e S \times (T_{fluide} - T_{air})$ où S est la surface de contact (supposée plane entre l'air extérieure), et

$$R_{the} = \frac{1}{h_e S}.$$

Avec givre, il faut aussi compter en plus de l'échange conducto-convectif, la conduction à travers la couche de givre. Les résistances thermiques s'ajoutent (en série) : $R_{thg} = \frac{1}{h_g S} + \frac{e_g}{\lambda_g S}$

$$\Rightarrow P_g = \frac{T_{fluide} - T_{air}}{R_{thg}} = \frac{T_{fluide} - T_{air}}{\frac{1}{h_g S} + \frac{e_g}{\lambda_g S}}$$

$$\text{On en déduit : } r = \frac{P_g}{P} = \frac{\frac{1}{\frac{1}{h_g S} + \frac{e_g}{\lambda_g S}}}{\frac{1}{h_e S}} = \frac{1}{h_e S \times \left(\frac{1}{h_g S} + \frac{e_g}{\lambda_g S} \right)} = \frac{1}{\frac{h_e}{h_g} + \frac{e_g h_e}{\lambda_g}}$$

L'AN donne : $r = 0,39$, ce qui indique que la perte d'échange thermique entre le fluide et l'évaporateur, selon ce modèle simple, est très importante avec une couche de givre.