

THERMODYNAMIQUE D'UNE POMPE À CHALEUR

Le cycle d'une pompe à chaleur se compose de quatre étapes, en dehors desquelles les échanges thermiques ou mécaniques sont supposés nuls.

- Compression : le gaz subit dans un compresseur une compression adiabatique et réversible qui l'amène de l'état 1 ($P_1 = 3$ bar et $T_1 = 5$ °C) à l'état 2 ($P_2 = 10$ bar) ;
- Condensation : le gaz se liquéfie totalement à pression constante jusqu'à atteindre l'état 3, en cédant de la chaleur à la source chaude ;
- Détente : le fluide traverse un tuyau calorifugé indéformable jusqu'à atteindre l'état 4 ;
- Évaporation : le liquide s'évapore totalement à pression constante jusqu'à retourner dans l'état 1, en recevant de la chaleur de la source froide.

À l'issue des étapes de condensation et d'évaporation, le fluide caloporteur est en équilibre thermique avec les sources respectivement chaude et froide.

Le diagramme de Mollier du fluide est donné en fin d'énoncé.

- 1) Sur le diagramme de Mollier fourni, la phase liquide y apparaît-elle incompressible et indilatable? La phase gazeuse y apparaît-elle comme un gaz parfait?

Correction

D'après le diagramme, on observe que dans la partie monophasée liquide les isothermes ne sont pas tracées mais qu'au niveau de la ligne d'ébullition, on voit des débuts de courbes verticales. On peut donc conclure que le modèle adopté pour le liquide est satisfaisant.

Pour la partie vapeur sèche, le modèle du gaz parfait n'est pas satisfaisant car on constate que les isothermes qui sont bien verticales pour une pression inférieure à 1 bar s'incurvent de façon très importante à partir de 10 bar. On retrouve bien le fait que le modèle du gaz parfait n'est satisfaisant que pour de faibles pressions.

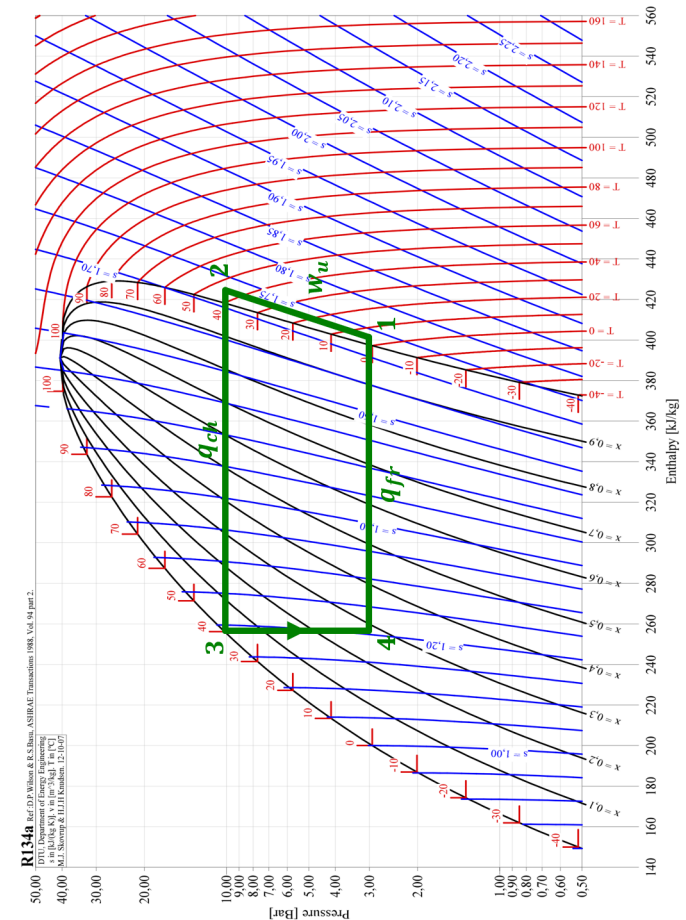
- 2) Représenter le cycle dans diagramme. Pour chacun des points 1 à 4 du cycle, indiquer dans un tableau les valeurs numériques respectives de l'enthalpie massique h , la pression P et la température T . Indiquer également l'état du fluide en chacun de ces points. Si cet état est un mélange liquide/vapeur, indiquer son titre massique en vapeur x .

Correction

Valeurs :

	1	2	3	4
h (kJ · kg ⁻¹)	402	424	256	256
P (bar)	3	10	10	3
T (°C)	5	45	40	0
État / x	G / 1	G / 1	L / 0	LG / 0,28

Graphe :



- 3) Déterminer numériquement l'efficacité de la pompe à chaleur. Comparer la valeur trouvée à celle qui correspondrait à un cycle de Carnot fonctionnant entre les mêmes

températures.

Correction

On applique le premier principe industriel pour chaque transformation :

$$\begin{cases} h_2 - h_1 = w_u = 22 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \\ h_3 - h_2 = q_C = -168 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \\ h_4 - h_3 = 0 \\ h_1 - h_4 = q_F = 146 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \end{cases}$$

L'efficacité est donc :

$$\eta = \frac{-q_C}{w_u} = 7,6$$

Pour un cycle de Carnot :

$$\eta = \frac{T_C}{\Delta T} = \frac{T_3}{T_3 - T_1} = 8,9$$

On retrouve bien le fait que la transformation réelle (irréversible) présente une efficacité plus faible que la transformation idéale de Carnot.

4) Calculer le débit massique du fluide permettant d'assurer une puissance de chauffage de $\mathcal{P}_C = 4 \text{ kW}$.

Correction

La puissance disponible pour le chauffage est donnée par :

$$\mathcal{P}_C = D_m |q_C| \Rightarrow D_m = \frac{\mathcal{P}_C}{|q_C|} = 25 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

