

Correction DS 08 Banque PT 2019

A. Réfrigérateur domestique

1. $Q_f > 0$. L'agent thermique retire du transfert thermique à la source froide pour la refroidir

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

$Q_c < 0$. L'agent thermique donne du transfert thermique à la source chaude

$$2. e_f = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie couteuse}} = \frac{Q_f}{W} :$$

D'après le 1er principe appliqué au fluide frigorigène au cours d'un cycle: $W + Q_c + Q_f = 0$ d'où

$$e_f = -\frac{Q_f}{Q_c + Q_f} = -\frac{1}{\frac{Q_c}{Q_f} + 1}$$

D'après l'inégalité de Clausius $\frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} \leq 0$ d'où $\frac{Q_c}{Q_f} \leq -\frac{T_c}{T_f}$ d'où $\frac{Q_c}{Q_f} + 1 \leq -\frac{T_c}{T_f} + 1$ d'où

$$e_f = -\frac{1}{\frac{Q_c}{Q_f} + 1} \leq -\frac{1}{1 - \frac{T_c}{T_f}} \text{ soit } e_f \leq e_f^{\max} = \frac{T_f}{T_c - T_f}.$$

Rem.: L'efficacité maximum est obtenue dans le cas d'un fonctionnement réversible.

B. Etude d'un cycle réfrigérant à compression de vapeur

3. Voir figure 1 annexe

4. Sur le diagramme $P(h)$, les isothermes sont verticales car l'enthalpie d'un liquide ne dépend que de la température.

5. Cf diagrammes

6. Voir tableau de l'annexe

7. Le transfert thermique se fait toujours du corps chaud vers le corps froid.

La source froide cède du transfert thermique au fluide donc $T_{\text{evap}} \leq T_f$.

Le fluide cède du transfert thermique à la source chaude donc $T_{\text{cond}} \geq T_c$.

8. Entre les états 1 et 2s, sur l'abaque de la figure 2b, les isothermes ne sont pas verticales ainsi l'enthalpie ne dépend pas que de la température. On ne peut pas utiliser le modèle du gaz parfait.

9. L'enthalpie massique de vaporisation à 0°C correspond à la longueur du palier de liquéfaction du diagramme $P(h)$ à 0°C . Soit le point 5 limite gauche du palier de liquéfaction où tout le fluide est sous forme liquide et le point 6 limite droite de ce palier où tout le fluide est vapeur. $L_{\text{vap}}(0^\circ\text{C}) = h_6 - h_5 = 398 - 200 = 198 = 20 \cdot 10^1 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

10. Dans l'état 4, $h_4 = x_4 h_6 + (1 - x_4) h_5$ ($x_4 h_6$ est l'enthalpie massique de la vapeur et $(1 - x_4) h_5$ l'enthalpie massique du liquide dans les conditions de température et de pression de l'état 4). Ainsi $h_4 - h_5 = x_4 (h_6 - h_5)$ d'où

$$x_4 = \frac{h_4 - h_5}{h_6 - h_5} \text{ AN : } x_4 = \frac{242 - 200}{398 - 200} = 0,2 = 20\% \text{ . Dans l'état 4, il y a 20\% de vapeur .}$$

11. D'après le rendement isentropique, $\eta = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$ d'où $h_2 - h_1 = \frac{h_{2s} - h_1}{\eta}$ d'où

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2s} - h_1}{\eta} = 408 + \frac{435 - 408}{0,75} = 444 \approx 44 \cdot 10^1 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

12. Voir tableau.

13. Voir diagramme

14. $s_2 > s_{2s}$ car la température de l'état 2 est supérieure à celle de l'état 2s. Dans l'état 2 il y a plus d'agitation thermique d'où plus de désordre d'où une entropie plus importante.

Pour expliquer ce résultat on peut également appliquer le 2nd principe entre l'état 1 et l'état 2s puis l'état 1 et 2 :

$$\Delta s_{1-2s} = s_{2s} - s_1 = s_e + s_c = 0 \text{ car la transformation est adiabatique réversible ainsi } s_{2s} = s_1$$

$$\Delta s_{1-2} = s_2 - s_1 = s_e + s_c = s_c > 0 \text{ car la transformation est adiabatique mais pas réversible. D'où } s_2 > s_{2s}$$

15. Dans une machine thermique si l'agent thermique est en régime d'écoulement permanent et ses variations d'énergie cinétique et potentielle de pesanteur négligeables devant les autres formes d'énergie alors la variation d'enthalpie massique de l'agent thermique lorsqu'il traverse chaque dispositif est égale au transfert thermique et au travail autre que les forces de pression reçu par 1kg de fluide :
$$h_s - h_e = w_u + q$$

16. Dans un réfrigérateur domestique un dispositif mesure au maximum 30cm de haut, un kg de fluide aura en le traversant une variation d'énergie potentielle de $\Delta E_p = m g h \approx 1 * 0,3 * 10 = 3J$. Lorsque 1kg de fluide traverse un de ces dispositifs sa variation d'enthalpie est au moins de $\Delta h = 10 kJ$ (voir graphiques). On en conclut que $\Delta E_p \ll \Delta h$.

17. Pour déterminer l'efficacité, il faut exprimer q_f et w_u . On applique le 1er principe dans l'évaporateur :

$$h_1 - h_4 = q_f \quad (w_u = 0).$$

On fait de même dans le compresseur adiabatique:
$$h_2 - h_1 = w_u$$
 ainsi :
$$e_f = \frac{q_f}{w_u} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

$$18. \quad e_f = \frac{q_f}{w_u} = \frac{408 - 242}{440 - 408} = 5,1$$

19. La surchauffe déplace le point 1 vers la droite dans le diagramme $P(h)$ ainsi $h_1 - h_4$ est plus grand ainsi le transfert thermique prélevé à la source froide est plus important. Par ailleurs $h_2 - h_1$ varie peu qu'il y ait surchauffe ou pas. Cette méthode permet d'augmenter l'efficacité de la machine.

20. L'intérêt de sous-refroidir le liquide en sortie du condenseur est de diminuer h_4 et d'augmenter ainsi q_f d'où l'efficacité.

C. Association réfrigérateur-congélateur

21. $h_4' = h_4''$ car la transformation 4'-4'' est isenthalpique. De plus on veut le même transfert thermique de 4 à 4' et de 4'' à 1'. D'après le 1er principe ces transferts thermiques correspondent aux variations d'enthalpie ($w_u=0$).

Il faut ainsi que : $h_4' - h_4 = h_1 - h_4'' = h_1 - h_4'$, ainsi
$$h_4' = \frac{h_4 + h_1}{2} = \frac{242 + 402}{2} = 322 = 32.10^1 kJ.K^{-1}$$

22. Voir diagramme.

23. La portion de vapeur augmente de 4' à 4'' car en 4'' on est plus proche de la courbe de rosée (théorème des moments).

$$24. \quad e_f = \frac{h_1 - h_{4'} + h_{4'} - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{402 - 240}{465 - 402} = 2,6$$

D. Comparaison des fluides frigorigènes

25. La pression de vapeur saturante est une fonction croissante de la température ainsi si $T_{\text{evap}} > T_{\text{cb}} (P_{\text{atm}})$ alors $P_{\text{evap}} > P_{\text{atm}}$

26. R717 a un coefficient de performance inférieur aux autres. Son volume massique est plus important ainsi que le taux de compression qui ne doit pas être trop élevé.

27. R600a est meilleur pour la couche d'ozone (GWP moins important) En matière environnemental l'europe est plus en avance que les états -Unis !

ANNEXES à RENDRE avec la COPIE

Figure 1 :

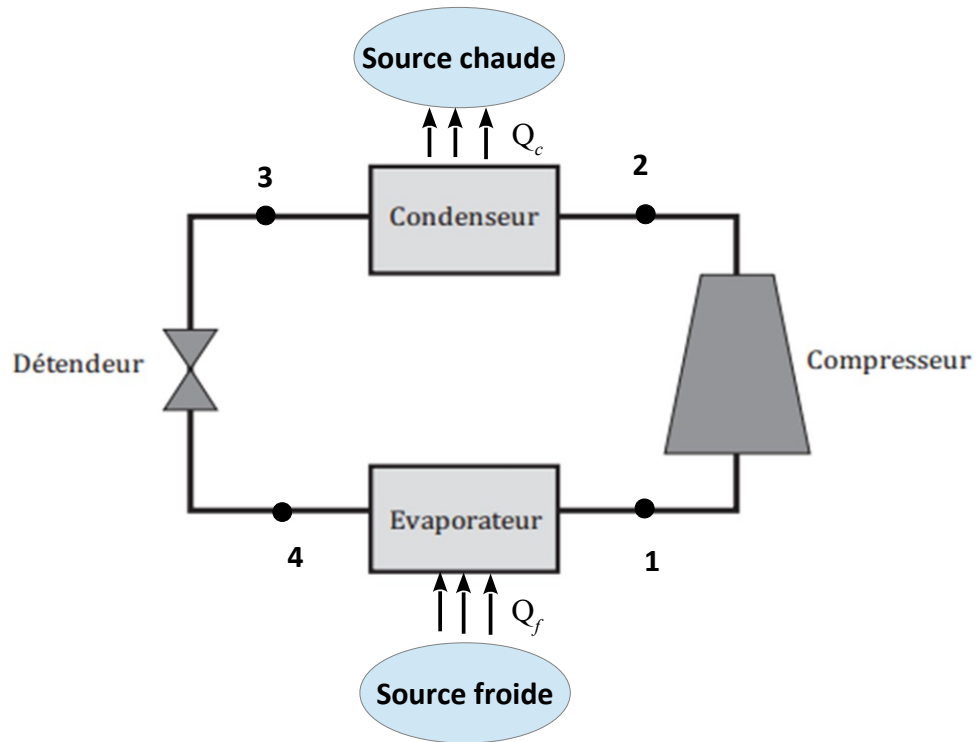
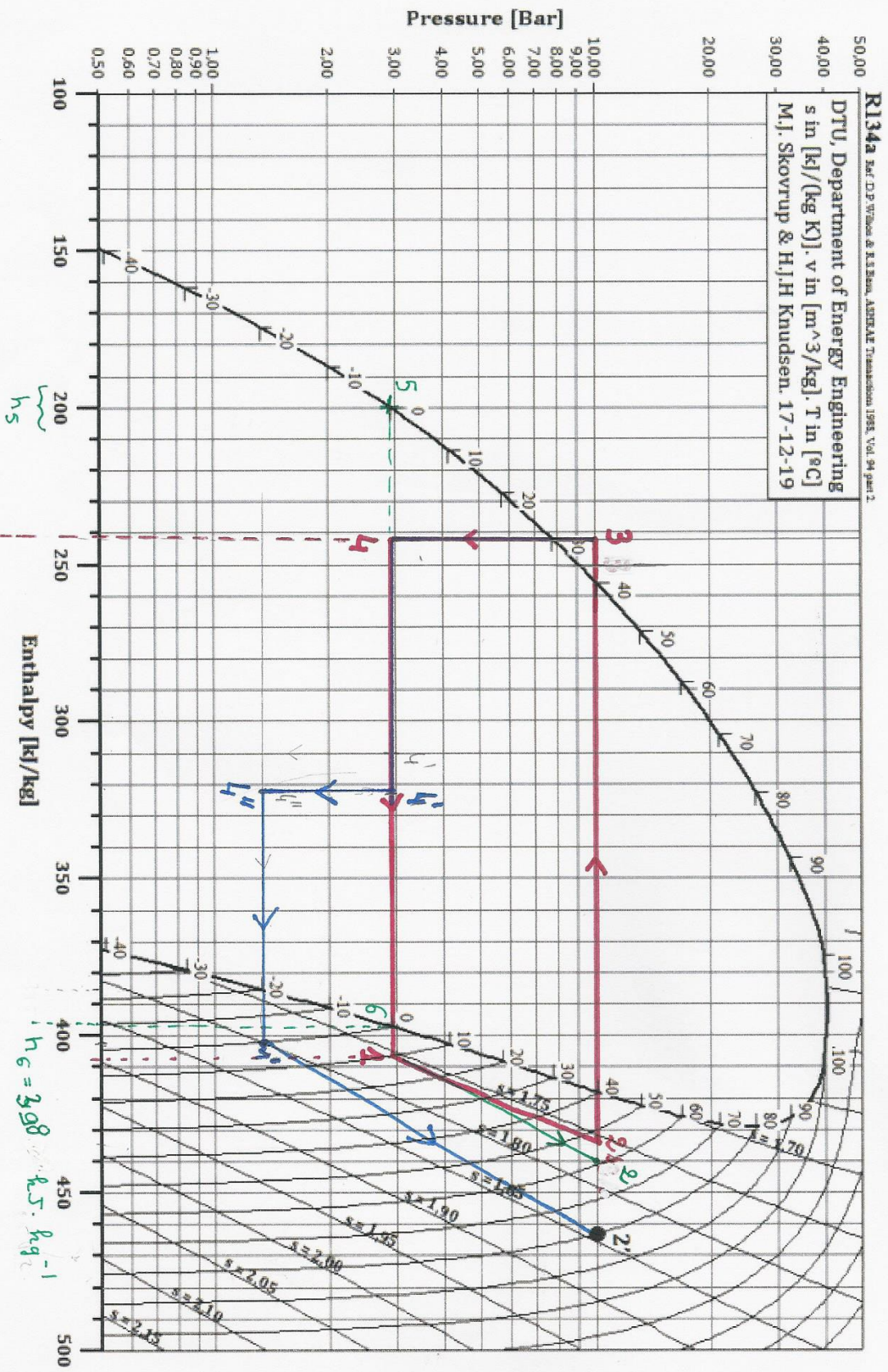


Tableau 3:

Point	1	2s	2	3	4	1'	2'
P(bar)	2,9	10	10	10	2,9	1,3	10
T(°C)	10	53	60	30	0	0	80
Etat du fluide	Vapeur sèche	Vapeur sèche	Vapeur sèche	Liquide	diphase	Vapeur sèche	Vapeur sèche
h(kJ.kg ⁻¹) (Donner 3 chiffres significatifs)	408	435	440	242	242	402	465

Figure 2b :



R134a Prof. Dr. P. Wibowo & R. Sison, AIRSAR Transmission 1988, Vol. 94 part 2
 DTU, Department of Energy Engineering
 s in [kJ/(kg K)], v in [m³/kg], T in [°C]
 M.J. Skovrup & H.J.H Knudsen, 17-12-19

R134a Ref: D.P. Wilson & R.S. Berry, ASHRAE Transactions 1988, Vol. 94-part 1
 DTU, Department of Energy Engineering
 h in [kJ/kg], v in [m³/kg], p in [Bar]
 M.J. Skovrup & H.J.H. Knudsen, 17-12-21

