

## DS 08 - correction.

### Problème 1. Equilibre liquide-vapeur

1) On lit au point où les courbes de rosée et d'ébullition se rejoignent:

$$| P_c = 75 \text{ bar}, V_c = 0,10 \text{ L.}$$

2) A 40 bar, la température de l'équilibre liquide-vapeur est de  $100^\circ\text{C}$ , on lit donc sur la courbe de rosée:

$$| V = 0,45 \text{ L.}$$

3) On définit le titre massique (ou molaire),  
 $x_v = m_v / m_{\text{tot}}$ .

$$\text{et } V_L = V_v = \frac{V}{2} = 5,0 \text{ L.}$$

$$\text{Aussi, } m_v = \frac{V_v}{v_v}, m_L = \frac{V_L}{v_L} = \frac{V_v}{v_L},$$

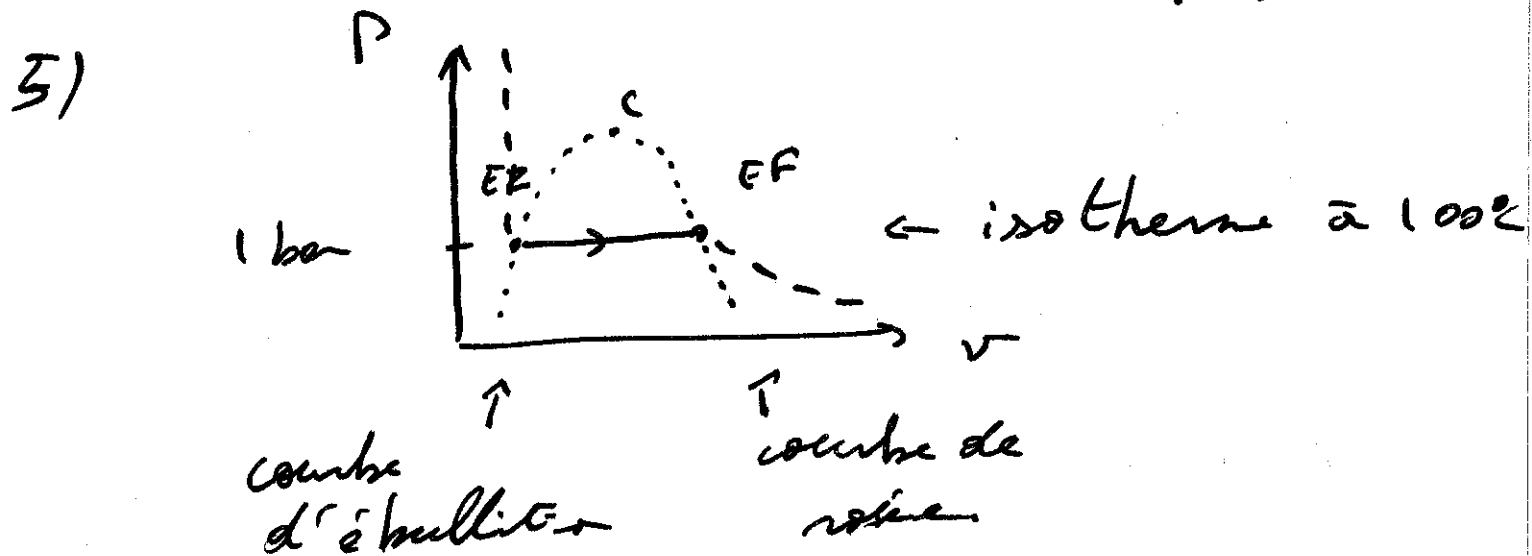
$$\text{soit } | x_v = \frac{m_v}{m_L + m_v} = \frac{V_v / v_v}{V_v / v_L + V_v / v_v} = 2,0 \cdot 10^{-4}$$

4) E 2. Eau liquide,  $P_i = 1 \text{ bar}$ ,  $T_i = 100^\circ\text{C}$ ,  $V_i$

↓  
E F Eau vapeur,  $P_g = 1 \text{ bar}$ ,  $T_g = 100^\circ\text{C}$ ,  $V_g$ .

La transformation est QS en contact d'un thermostat, il est raisonnable de

penser qu'elle est isotherme. Dans ce cas, la pression est une constante (QSR et loi d'état des gaz parfaits).



6) Le système est supposé être à 100% vapeur, gaz parfait:

$$V_F = \frac{n R T_F}{P_F} = \frac{m R T_F}{M P_F} = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

7) On applique le premier principe au système, avec H, vu que la transformation est isobare:

$$\Delta H = W_a + Q$$

$$m L_{\text{vap}} = Q = 2,25 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Problème 2: Notion à 4 temps

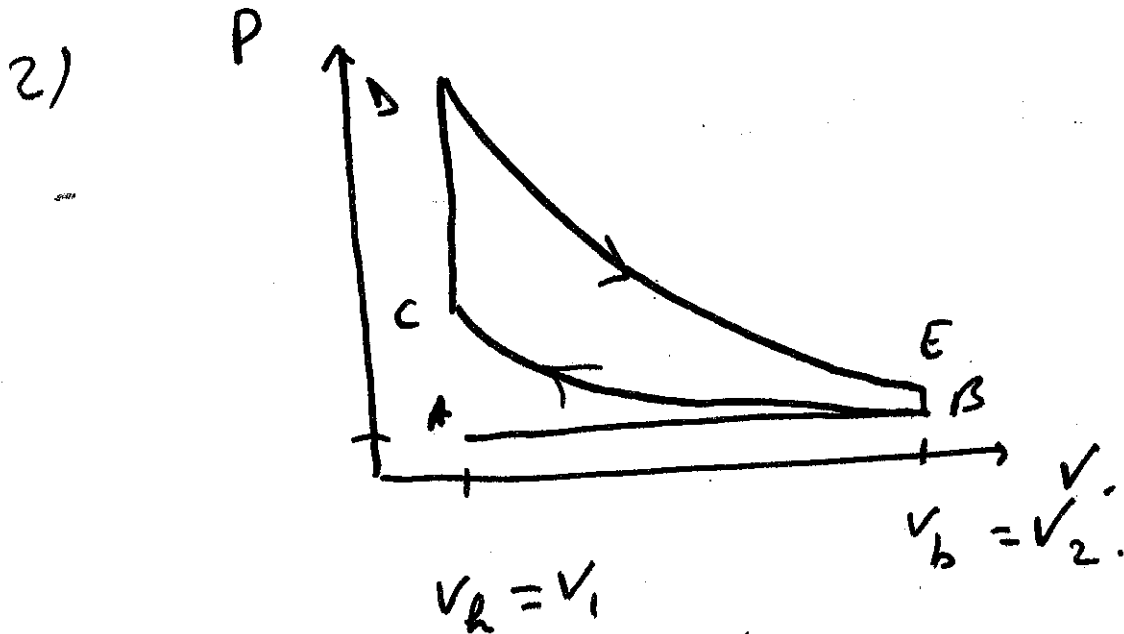
1) On a le rapport de compression  $\epsilon = 11$ ,

On note  $V_h$  le volume au point haut  
 $V_b$  le volume au point bas.

Le moteur a une cylindrée de  $1133 \text{ cm}^3$ ,  
 chaque cylindre a une cylindrée de  
 $400 \text{ cm}^3$ .

On a alors :

$$\begin{cases} V_b - V_h = 400 \text{ cm}^3 \\ V_b = 8 V_h \end{cases} \quad \left| \begin{array}{l} V_h = 40 \text{ cm}^3 \\ V_b = 440 \text{ cm}^3 \end{array} \right.$$



3) Le cycle réel diffère car ce n'est pas  
 un cycle idéal, n'état pas QS,  
 P n'est pas toujours définie, la combustion  
 n'est pas instantanée, les étapes AB et  
 BA ne se font pas à pression constante  
 (il faut des sur-souspressions pour faire  
 bouger le fluide),  $\gamma$  change avant/après  
 la combustion, la loi de Laplace

n! est pas applicable.

4) de B à C: transformator  $Q=0$ , réversible,  
la loi de Laplace s'applique:

$$| P_C = P_B \frac{V_B^\gamma}{V_C^\gamma} = 29 \text{ bar}$$

$$\text{et } | T_C = T_B \frac{V_B^{\gamma-1}}{V_C^{\gamma-1}} = 780 \text{ K}$$

de D à E, la loi de Laplace s'applique  
également:

$$| P_D = P_E \frac{V_E^\gamma}{V_D^\gamma} = 120 \text{ bar.}$$

5) Système: gaz au sein du cylindre,  
Transformator: adiabatique réversible.

Premier principe:

$$\Delta U_{BC} = W_{BC} + Q_{BC} = 0$$

$$= n C_{vm} (T_C - T_B),$$

$$W_{BC} = \frac{nR}{\gamma-1} (T_C - T_B)$$

$$| W_{BC}^{ad} = \frac{1}{\gamma-1} (P_C V_C - P_B V_B) = 177 \text{ J} > 0.$$

6) Transformator isochore.

Premier principe:

$$\Delta U_{CD} = W_{CD} + Q_{CD}$$

"0"

$$\begin{aligned}
 T_{\text{source}} &= n C_{vm} (T_D - T_c) \\
 Q_{cd} &= \frac{P_D V_D - P_c V_c}{\gamma - 1} = 865 \text{ J}
 \end{aligned}$$

7) On cherche le rendement :

$$R_{dt} = \left| \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie consommée}} \right|$$

$$= \frac{-W_{\text{cycle}}}{Q_{cd}}$$

$$R_{dt} = - \frac{Q_{cd}}{W_{bc} + (-|W_{de}|)} = 0,48$$

8) Le cycle de Carnot est obtenu pour un fonctionnement réversible. On écrit :  
premier principe sur le cycle :

$$\Delta U_{\text{cycle}} = W_{\text{cycle}} + Q_{\text{froid}} + Q_{\text{chaud}} = 0$$

second principe :

$$\Delta S_{\text{cycle}} = \frac{Q_{\text{froid}}}{T_{\text{froid}}} + \frac{Q_{\text{chaud}}}{T_{\text{chaud}}} + S_{\text{irr}} = 0$$

$$\text{donc } R_C = \frac{-W_{\text{cycle}}}{Q_{\text{chaud}}}$$

$$= 1 + \frac{Q_{\text{froid}}}{Q_{\text{chaud}}}$$

$$= 1 - \frac{T_{\text{froid}}}{T_{\text{chaud}}}$$

$$R_C = 0,89 > R_{dt}$$

Le moteur réel n'est pas fondamentalement réversible.

### Problème 3: Réfrigérateur à compresseur.

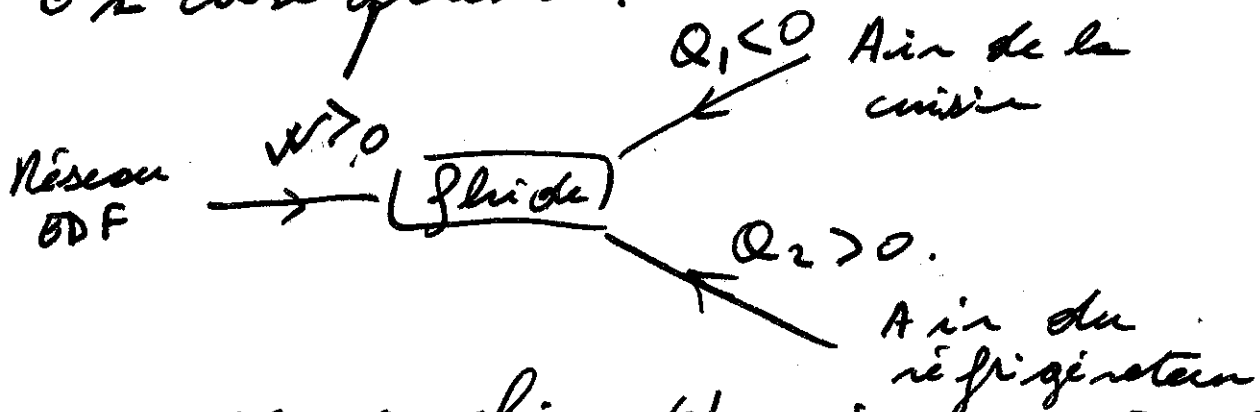
1) On a:

→ le compresseur, qui fournit du travail au fluide ( $W$ )

→ l'évaporateur est en contact de la source froide ( $Q_1$ ), le fluide reçoit de l'énergie et s'évapore

→ le condenseur est en contact de la source chaude ( $Q_2$ ), le fluide donne de l'énergie à l'extérieur.

2) En conséquence:



On a une machine thermique réceptrice.

3) Système : GP

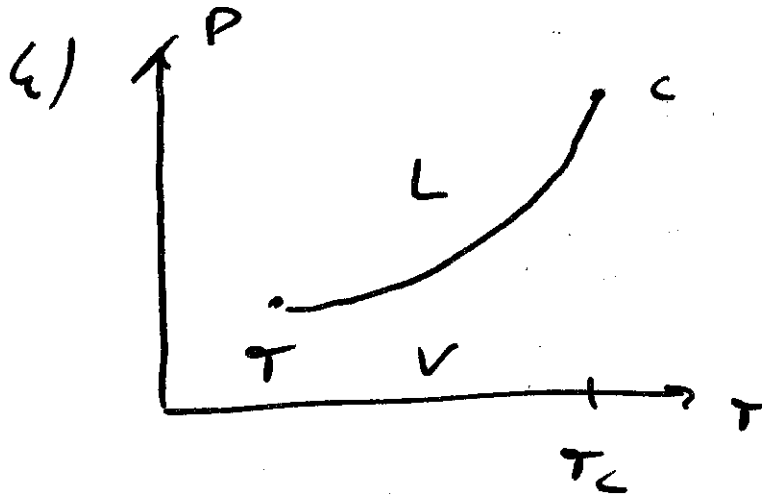
Transformation : adiabatique, rapide,

On écrit le premier principe:

$$\Delta U = W + Q \stackrel{Q=0}{=} W$$

$$T_{\text{finale}} = n C_{V,m} (T_f - T_i),$$

Ainsi, vu que  $W > 0$ ,  $T_{\text{finale}} > T_{\text{initiale}}$ .



Si on veut avoir un équilibre liquide-vapeur à haute température, il faut que  $T_c$  soit élevée.

5) Le COP est l'efficacité frigorifique:

$$\text{COP} = \frac{Q_2}{W}$$

On applique le premier principe sur un cycle pour le fluide:

$$W + Q_1 + Q_2 = \Delta U = 0,$$

$$\boxed{\text{COP} = -\frac{Q_2}{Q_1 + Q_2} = -\frac{1}{1 + Q_1/Q_2}}$$

6) On se place ensuite dans le cas réversible, dans lequel l'inégalité de Clausius s'écrit:

$$Q_1/T_{\text{ext}} + Q_2/T_{\text{int}} = 0,$$

d'où, le COP de Carnot s'écrit:

$$\boxed{\text{COP}_g = \frac{T_{\text{int}}}{T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}}$$

7) AN :  $\boxed{= 13,9.}$

8) 9) cf diagramme.

10) On lit  $\boxed{T_{\text{eq}} = 25^\circ\text{C},}$

11) et  $\boxed{T_{\text{vap}} = -60^\circ\text{C}.}$

12) On introduit le premier principe industriel, pour un fluide en écoulement relativement lent, dans une conduite horizontale:

$$\underbrace{\Delta h}_{\substack{\text{Variation} \\ \text{d'enthalpie} \\ \text{massique}}} = \underbrace{w_a + q}_{\substack{\text{Travail} \\ \text{utile massique} \\ \text{(reçu)}}} + \underbrace{q}_{\substack{\text{Transfert thermique} \\ \text{(reçu)}}} \quad \text{en J.kg}^{-1}.$$

13). Système : fluide

• Absence de travail reçu ou fourni, pas de paroi mobiles.

$$\boxed{\Delta h_{\text{DA}} = q_2 = h_A - h_D = 405 - 235 = 170 \text{ kJ.kg}^{-1}}$$



14) Transformation adiabatique.

$$\Delta h_{AB} = q_{AB} + w_u = h_B - h_A = 440 - 405 = 35 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

15) Transformation sans travail utile

$$\Delta h_{BC} = q_1 = h_C - h_B = 235 - 449 = -214 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

16) On vérifie que  $w_u + q_1 + q_2$  est petit (proxi null), ce qui traduit le premier principe sur le cycle. Dans la pratique un peu de travail est échangé dans l'évaporateur et le condenseur.

17) On reprend le résultat de la question 5), massique:

$$\text{COP}_{\text{vrai}} = \frac{q_2}{w_u} = 4,9$$

18) et  $\text{COP}_g = 5,6 > \text{COP}_{\text{vrai}}$ , car il y a des irréversibilités dans la machine réelle ( $s_c > 0$ ), du fait des gradients thermiques.

# **R134a** Ref: D.P. Wilson & R.S. Basu, ASHRAE Transactions 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, 06-03-27

