

Système : liquide dans le saphir de capacité thermique massique c et calorimètre de capacité thermique C .

a) Application du premier principe au fluide pendant dt :

$$dH_{\text{fermé}} = \delta Q \quad \text{car on néglige la variation d'énergie cinétique}$$

$$\begin{aligned} \text{Or } dH_{\text{fermé}} &= H_{\text{fermé}}(t+dt) - H_{\text{fermé}}(t) \quad \text{et les forces de pressions ne travaillent pas car le fluide est un liquide (phase condensée)} \\ &= H_{\text{final}} - H_{\text{initial}} \quad w_p = -P dV = 0 \\ &= D_m dt c (\theta(t) - \theta_1) \quad \text{car } D_m = \text{cste donc l'écoulement est stationnaire} \end{aligned}$$

Ainsi la puissance thermique reçue par le liquide

$$\underline{P_{\text{th, liq}} = \frac{\delta Q}{dt} = D_m c (\theta(t) - \theta_1)}$$

b) Le système est calorifugé donc il n'y a pas de phénomène dissipatif de chaleur

Ainsi la puissance thermique reçue par le calorimètre est la puissance thermique fournie par le liquide

$$\text{d'où } P_{\text{th, calo}} = - P_{\text{th, liq}} \quad \underline{B}$$

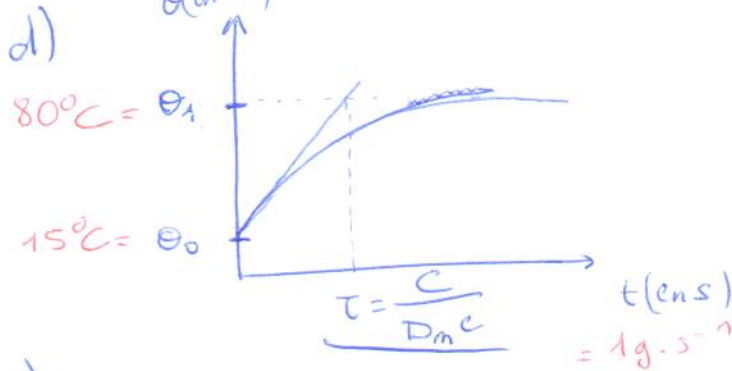
$$\text{Or } dH_{\text{calo}} = C d\theta = P_{\text{th, calo}} dt$$

$$\text{D'où } P_{\text{th, calo}} = C \frac{d\theta}{dt}$$

c) En égalisant les expressions des puissances :

$$C \frac{d\theta}{dt} = - D_m C (\theta(t) - \theta_1) \quad \checkmark$$

$$\text{donc } \frac{d\theta}{dt} + \frac{D_m C}{C} \theta(t) = \frac{D_m C}{C} \theta_1 \quad \checkmark$$



e) ~~tot~~ Comme $D_m = 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$, lorsque 100g de liquide ont traversé ~~15~~ 100s s'est donc écoulée. Ainsi cherchons $\theta(t)$ pour $t = 15$

En résolvant l'équation différentiel on a :

$$\theta(t) = A e^{-t/\tau} + \theta_1$$

$$\text{à } t = 0 \text{ s } \theta(t=0) = \theta_0 = A + \theta_1$$

$$\text{donc } \theta(t) = (\theta_0 - \theta_1) e^{-t/\tau} + \theta_1$$

$$\text{A.N: } \theta(t=100) = (15 - 80) e^{-\frac{10^{-3} \times 1760 \times 100}{1760}} + 80$$

$$\theta(t=15) \approx \cancel{15^\circ\text{C}} \quad \underline{21,2^\circ\text{C}}$$

f)

$$\text{Pour } t = 100 \text{ s, } \theta(t) = 52,0^\circ\text{C} \quad \checkmark$$

$$\text{donc } \theta(100) = (\theta_0 - \theta_1) e^{-\frac{t}{\tau}} + \theta_1$$

$$\Rightarrow \ln \left(\frac{\theta(100) - \theta_1}{\theta_0 - \theta_1} \right) = - \frac{t}{\tau}$$

$$\tau = \frac{t}{\ln \left(\frac{\theta_0 - \theta_1}{\theta(t=100) - \theta_1} \right)}$$

$$\text{A.N: } \text{on } \tau = \frac{C}{D_m C_H}$$

$$\text{donc } C_H = \frac{C \ln \left(\frac{\theta_0 - \theta_1}{\theta(t) - \theta_1} \right)}{D_m t} \quad \text{A.N: } C_H = \frac{1700}{10^{-3} \times 100} \ln \left(\frac{15 - 80}{52 - 80} \right)$$

$$C_H = 1,4 \times 10^4 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

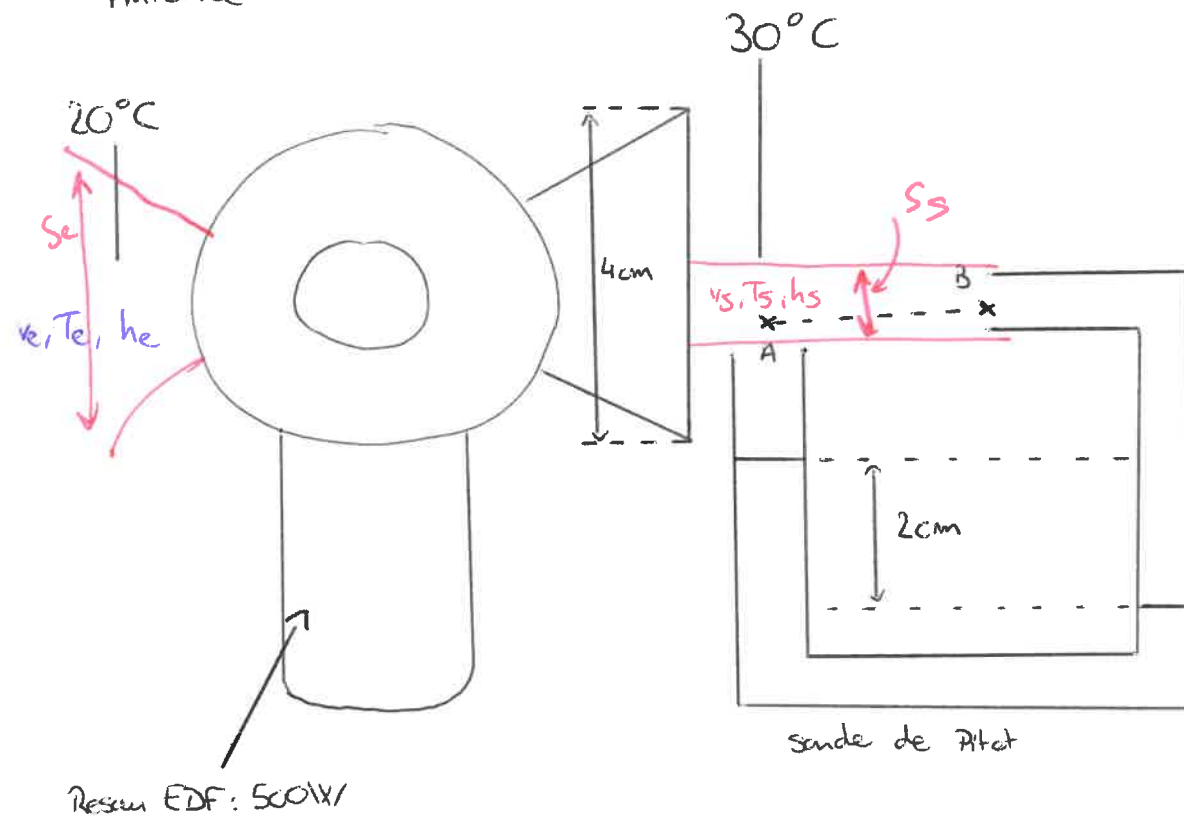
SEVIFCW

Yanis

AGODY

Antoine

Rendement d'un sèche-cheveux

TD 24
ex II

On veut ici déterminer le rendement η de ce sèche-cheveux.

Par définition $\eta = \frac{P_{utile}}{P_{act}}$

Ici, $P_{utile} = P_{th} + P_m$

Et $P_{act} = 500 \text{ W}$ (Ressum EDF)

On veut donc déterminer $P_{th} + P_m$, pour cela on va utiliser le 1^{er} principe industriel sur le système {~~sèche-cheveux~~ air qui traverse le sèche-cheveux} entre l'entrée (état e) et la sortie (état s).

On a donc :

$$\dot{m} ((h_s - h_e) + (e_s - e_e) + g(z_s - z_e)) = P_{th} + P_m$$

$\leftarrow$ débit massique
 $\leftarrow$ variation d'enthalpie massique
 $\leftarrow$ énergie cinétique massique
 $\leftarrow$ variation d'altitude (on la néglige ici)

$\nearrow$ P_{utile}

On a ici,

$$e_{cs} - e_{ce} = \frac{1}{2} (v_s^2 - v_e^2)$$

On a ici $v_s \gg v_e$ donc $e_{cs} - e_{ce} \approx \frac{v_s^2}{2}$

pourquoi?

↳ écoulement incompressible $\rho v = \rho_e v_e = \rho_s v_s = \text{const}$

De plus,

$$\frac{v_s}{v_e} = \frac{S_e}{S_s} \gg 1$$

$$\underline{g(z_s - z_e) \approx 0}$$

Finalement, (si on suppose la transformation isobare)

*↳ est à l'air d'être le cas
 $p_e = p_s = p^0$!*

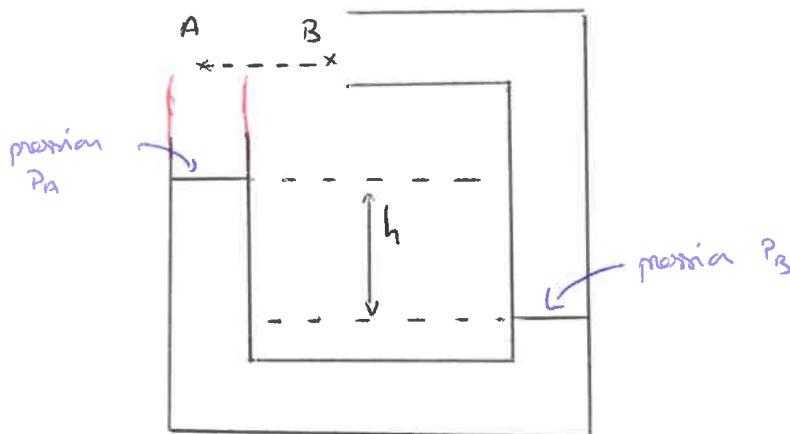
$$h_s - h_e = c_p (T_s - T_e) \quad \checkmark$$

$$= c_p (30 - 20)$$

$$= 10^3 \cdot 10$$

$$\underline{h_s - h_e = 10^4 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

Il nous reste à déterminer v_s en utilisant les informations données par la sonde de pitot :



Pour ce faire, on applique la relation de Bernoulli sur la ligne de champ A-B en supposant que l'écoulement est :

- incompressible **et homogène**
- parfait
- en écoulement stationnaire

$$\text{Ainsi, } \frac{v_A^2}{2} + gz_A + \frac{P_A}{\rho} = \frac{v_B^2}{2} + gz_B + \frac{P_B}{\rho}$$

Or, si $z_A \approx z_B$, et par symétrie du système $v_B = C$ tandis que $v_A = v_B$:
 ↳ **point d'arrêt**

$$\frac{v_B^2}{2} + \frac{P_A}{\rho} = \frac{P_B}{\rho}$$

$$\text{Et de ce fait } \underline{v_B^2 = \frac{2}{\rho} (P_B - P_A)}$$

On en utilisant la relation fondamentale de la statique des fluides,
 avec $\vec{\text{grad}}(P) = \rho \vec{g}$, $P_B - P_A = \rho gh$ avec ρ la masse volumique du
 fluide dans la sonde (eau donc $\rho \approx 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

$$\text{De fait, } \underline{v_B = \sqrt{\frac{2}{\rho} \rho gh}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^3 \cdot 9.81 \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{1}} \approx \underline{19.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

Enfin, il nous reste à déterminer D_m , le débit massique.
 Comme l'écoulement est supposé incompressible, D_m est constant et donc
 on peut l'obtenir (en sortie de l'appareil),

$$\underline{D_m = S_s \rho v_B} = \pi (2 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 1 \cdot 19.8 \approx \underline{2.5 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}}$$

section de sortie
 (on la suppose circulaire
 de rayon 2cm)

Ainsi, appliquons le 1^{er} principe industriel :

$$\sum_m ((h_s - h_e) + (e_{cs} - e_{ce}) + g(z_s - z_e)) = \dot{P}_{th} + \dot{P}_{m}$$

$$\Rightarrow S \rho v_s \left(c_p (T_s - T_e) + \frac{\rho g h}{\rho} \right) = \dot{P}_{th} + \dot{P}_{m}$$

$$\Rightarrow 2,5 \times 10^{-2} \left(10^3 \cdot 10 + 19,8^2 \right) = \dot{P}_{th} + \dot{P}_{m}$$

$$\Rightarrow \underline{\dot{P}_{utile} = \dot{P}_{th} + \dot{P}_{m} = 259,8 \text{ W}} \quad \approx 260 \text{ W}$$

trop de CS !

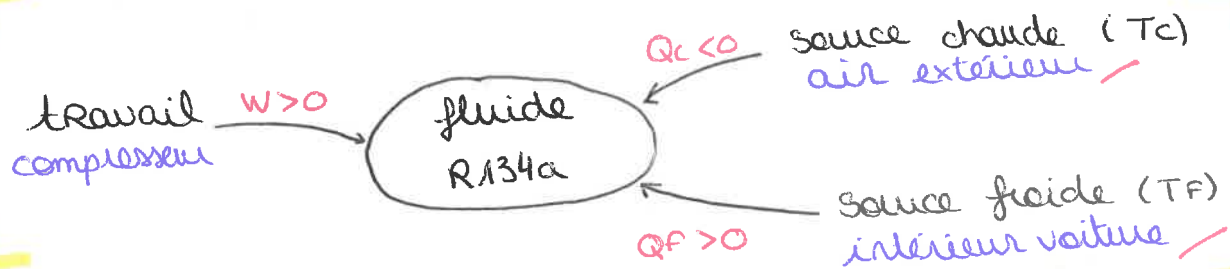
$$\text{Subséquentement, } \underline{\eta = \frac{259,8}{500} \approx 0,52 \text{ soit } 52\%}$$

Le rendement de cet appareil est donc de 52%, ce qui est correct pour un appareil de la sorte.

Cependant cela a été déterminé en négligeant les pertes multiples (de charge, ~~multiples~~, thermiques, ...) on peut donc s'attendre, en réalité, à un rendement inférieur à 52%.

B.

1) schéma de principe d'une machine diatherme.



2) voir diagramme.

3) On peut considérer un fluide à l'état gazeux comme un gaz parfait lorsque les **isothermes** sont des **droites verticales**. donc lorsqu'on est à **basse pression**. *car pour un gaz parfait $dh = c_p dT$*

4) D'après le 1^{er} principe industriel pour un écoulement permanent et stationnaire: $h_s - h_e = w_m + q$

$\frac{P_{mecc}}{Dm}$ + transfert mécanique massique.
 $\frac{P_{th}}{Dm}$ transfert thermique massique.
 enthalpie massique à la sortie de la machine
 enthalpie massique à l'entrée de la machine

5) $h_1 = 402 \text{ kJ.kg}^{-1}$
 $s_1 = 1,74 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$] Notez ces valeurs sur le graphe.

6) $P_2 = 6P_1 = 6 \times 3 = 18 \text{ bar}$

$T_2 = 70^\circ\text{C}$

$h_2 = 440 \text{ kJ.kg}^{-1}$

$s_2 = 1,74 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1} = s_1 \rightarrow \text{isentropique}$

7) Le compresseur est adiabatique $\Rightarrow Q = 0$.

Ainsi $w_m = h_2 - h_1$

$= 440 - 402$

$= 38 \text{ kJ.kg}^{-1}$

$w_m > 0$ lors d'une compression le fluide reçoit du travail

$$8) h_3 = 290 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

9) Le détenteur est supposé adiabatique. De plus il n'y a pas de travail fourni. Donc $h_4 - h_3 = 0 \Rightarrow h_4 = h_3$.

Donc la transformation dans le détenteur est isenthalpique.

$$10) T_4 = 1^\circ\text{C}$$

$$x_4 = 0,45$$

$$11) q = h_1 - h_4 = 402 - 290 = 112 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

$q > 0$
le fluide reçoit de la chaleur de l'air à l'intérieur de l'habitable

Donc l'air à l'intérieur du véhicule est refroidi.

$$12) e_{\text{frigo}} = \frac{\text{"utile"}}{\text{"fournie"}} = \frac{Q_{\text{vap}}}{W} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{112}{38} = 2,95$$

$$13) e_{\text{carnot}} = \frac{T_F}{T_C - T_F} = \frac{20 + 273}{(30 + 273) - (20 + 273)} = 29,3$$

$$T_F = 20^\circ\text{C}$$

$$T_C = 30^\circ\text{C}$$

$\hookrightarrow$ à montrer.

dans l'énoncé on vous dit température de l'évaporateur.
 $= T_4 = 1^\circ\text{C} = T_F$

et la température de liquéfaction à $P_2 \rightarrow T_3 = 60^\circ\text{C} = T_{\text{cl}}$.
 $\rightarrow e_{\text{carnot}} = 4,6 > e_{\text{frigo}}$

cohérent $\Rightarrow$ la machine réelle n'est pas réversible.
L'irréversibilité a fait dans le détenteur.

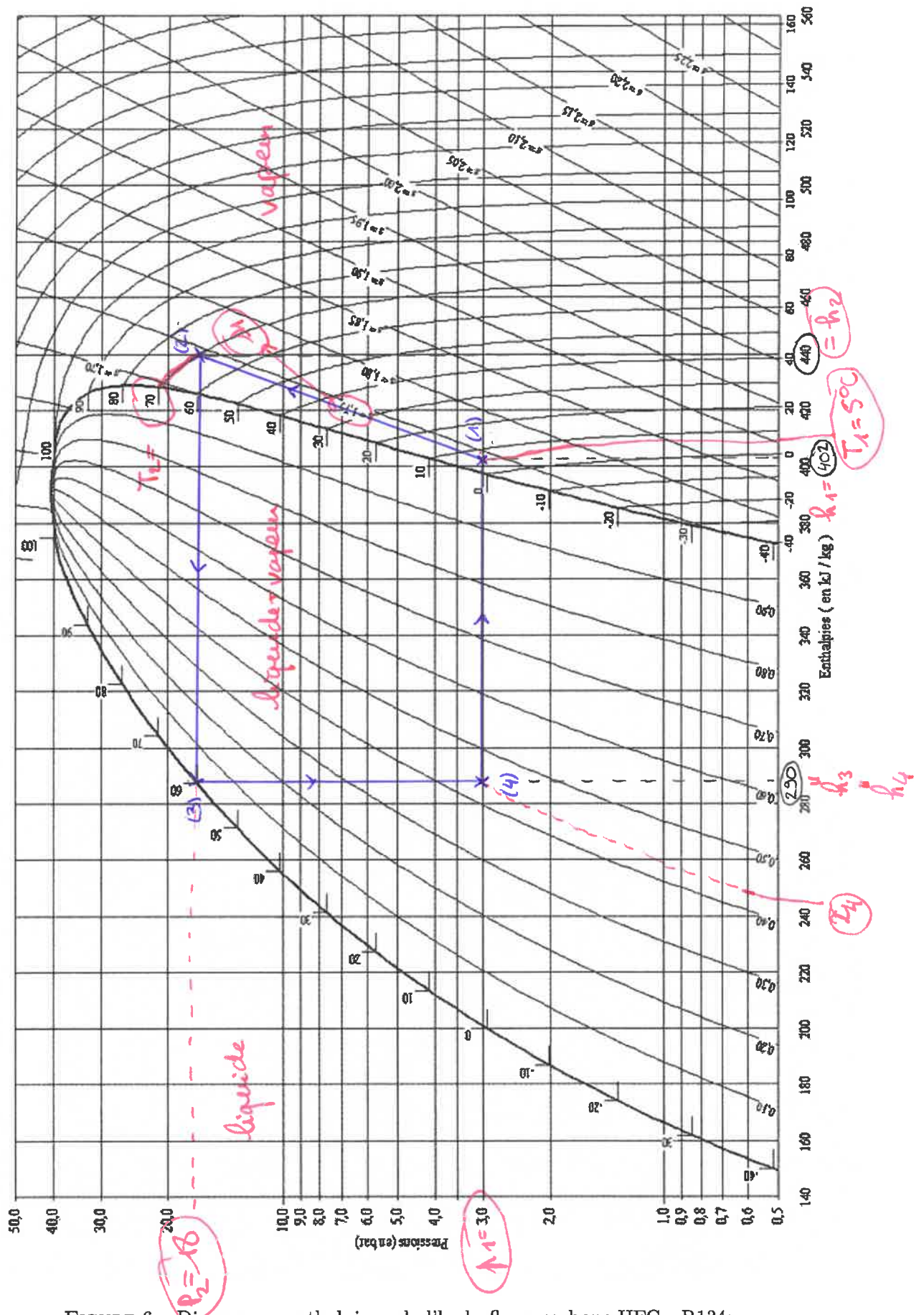


FIGURE 6 – Diagramme enthalpique de l'hydrofluorocarbure HFC - R134a

EX III

⚠ Dans tout ces exercices il faut appliquer au différents organes le 1er principe "industriel" → fluide en écoulement stationnaire

1. On place les points sur le graphique

① $T_1 = 280 \text{ K}$ $P_1 = P^0$

② $T_1 = T_2$ et $P_2 = 200 \text{ bar}$

car compression isotherme

③ vapeur saturante

④ Liquide extrait à P^0

B

2. On lit graphiquement

$h_1 = 505 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ✓

$h_2 = 475 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ✓

$h_3 = 80 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ✓

$h_4 = 280 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ✓

$s_1 = 3,85 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ✓

$s_2 = 3,17 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ✓

$s_3 = 0,0 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ✓

$s_4 = 2,50 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ✓

3. Pour un gaz parfait:

On est dans le domaine des gaz parfaits lorsque les isothermes sont des droites verticales

$(dH = Tds + VdP)$

car $dH = C_p dT$ pour 1 GP.
→ donc isotherme = isenthalpe

Pour un passage isotherme, $T = \text{cte}$

ou $dP = d\left(\frac{nRT}{V}\right)$

donc $dH = Tds + VmR d\left(\frac{T}{V}\right)$

$dH = T \left(ds + mR v d\left(\frac{1}{v}\right) \right)$

(utile)

Dans le cas de l'isentropie

$$dH = 0 = T dS + V dP$$

$$\Rightarrow -T dS = V dP$$

4. Le diazote peut être considéré comme un gaz parfait pour $T > -90^\circ\text{C}$ et $P < 10 \text{ bar}$ **B**

⚠ Il faut appliquer les 1^{er} et 2^e principes aux fluides en écoulement stationnaire en J.K.kg^{-1}

$$(\Delta S - \Delta_1) = S_{\text{cré}} + \frac{q}{T}$$

5. Deuxième principe thermo :

$$\Delta S = S_{\text{cré}} + S_{\text{éch}}$$

$$\Delta S = S_{\text{éch}} = \frac{Q}{T}$$

→ formulation pour système fermé

$$S_{\text{cré}} = 0 \Rightarrow \text{réversible}$$

$$\begin{aligned} \text{donc } q_{1 \rightarrow 2} &= T(\Delta S - \Delta_1) \\ &= 290(2,17 - 3,85) \\ &= -493 \text{ kJ.kg}^{-1} \end{aligned}$$

or d'après le 1^{er} principe :

$$\begin{aligned} \cancel{\Delta E_c} + \cancel{\Delta U} &= w + Q \\ \downarrow \quad \quad \downarrow \\ 0 \quad \quad 0 &= w + Q \end{aligned}$$

$$\text{et } w = -\int P dV$$

où P correspond aux forces de pressions exercées sur le fluide

$$\text{Ainsi } Q = \int P dV$$

$$\text{d'où } \Delta S = \frac{1}{T} \int P dV$$

utile

Le système ne bouge pas et le passage 1 → 2 est isotherme

le principe à appliquer au fluide en écoulement stationnaire

6. $\Delta U_{12} = Q_{12} + W_{12} \Rightarrow$
 $= 0$

$Q_{12} = -W_{12}$

pas de transformation isotherme
 $h_2 = h_1$
 $W_{12} = -Q_{12}$

$(h_2 - h_1) = q_{12} + w_{12}$ (en $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Alors $\Delta S_{12} = -\frac{W_{12}}{T} \Leftrightarrow W_{12} = -T \Delta S_{12}$
 $\Leftrightarrow W_{12} = -T \Delta S_{12}$
 $W_{12} = -T (S_2 - S_1)$

un manique

$W_{12} = -T (s_2 - s_1) = 493 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
AN?

7. Les transformations $3 \rightarrow 4$ est ~~$1 \rightarrow 2$~~

On a une détente, donc P ~~varie~~ diminue.
~~isotherme~~
 $\rightarrow$ adiabatique

On suppose la réaction isotherme réversible

8. $\gamma = \frac{m_{\text{liquide}}}{m_{\text{tot}}}$

le principe appliqué à 1 fluide en écoulement stationnaire $(h_4 - h_3) = w_u + q$
 si on néglige la variation d'énergie cinétique et potentielle, ici $w_u = 0$ pas de perte mécanique
 $q = 0$ adiabatique
 $\Rightarrow h_4 - h_3 = 0 \Rightarrow h_4 = h_3$

d'après le théorème des moments

1. l'écoulement en 4000

$\gamma = \frac{h_5 - h_6}{h_5 - h_6}$

$\Leftrightarrow$

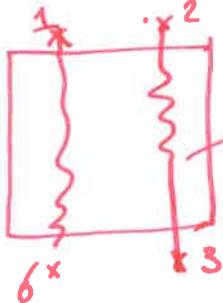
$\gamma (h_5 - h_6) + h_6 = h_4 = h_3$

9. On applique le 1^{er} principe au diagramme

Isobare :

$dH = \delta Q + \delta W$

entre 1 et 6



$Dm (h_3 - h_2) = \dot{Q}_{th_{23} \text{ reçue}} \text{ (1^{er} pp)}$
 $\in$ adiabatique

$Dm' (h_4 - h_6) = \dot{Q}_{th_{61} \text{ reçue}}$

avec $Dm' = (1 - \gamma) Dm$
 $\leftarrow$ fraction de liquide pulvérisé

Équilibre adiabatique $\Rightarrow \dot{Q}_{th_{23} \text{ reçue}} + \dot{Q}_{th_{61} \text{ reçue}} = 0$
 $(h_3 - h_2) + (1 - \gamma) (h_4 - h_6) = 0$

10.

$$h_3 - h_2 + (1 - y)(h_1 - h_c) = 0$$

$$\text{or } h_c = h_1 - h_5 + h_5$$

$$\rightarrow y = \frac{h_2 - h_1}{h_2 - h_1} \quad y = 0,08 = 8\%$$

10. pour extraire 1 kg de N_2 liquide $\Rightarrow$ il faut 1 ^{de N_2} mme autopoint
de $m_{\text{tot}} = \frac{m_{\text{eq}}}{y} = 12,5 \text{ kg}$.

11. le travail fourni par le compresseur $W = w_{12} \times m_{\text{tot}}$
 $= 5,7 \text{ MJ}$.

12. a4: $P_4 = P_1 = 1 \text{ bar}$ $y = 0,08$ $x = 0,92$
par lecture $\left| \begin{array}{l} h_4 = 265 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \\ s_4 = 2,35 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \end{array} \right.$

13 $h_3 = h_4$ à $P = 200 \text{ bar}$.
 $= 265 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
 $s_3 = 1,23 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

14. $s_4 - s_3 = 2,35 - 1,23 = 1,12 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

Détente adiabatique $\Rightarrow y_{\text{éch}} = 0$ $s_4 - s_3 = y_{\text{éch}} > 0$ OK
 $\rightarrow$ irréversibilité due aux frottements dans le détendeur.

15. 10 L de diazote liquide $\Rightarrow m_{\text{eq}} = \rho_{\text{N}_2} \times V$
 $= 810 \times 10^{-2}$
 $= 8,1 \text{ kg}$.

$$\Rightarrow m_{\text{tot}} = \frac{m_{\text{eq}}}{0,8} = 10,1 \text{ kg}$$

l'énergie nécessaire se trouve dans la compression $1 \rightarrow 2$

$$W_{1-2} = 10,1 \times 493 = 4979,3 \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh} = 10^3 \times 3600 = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\text{coût } 0,15 \text{ €} \Rightarrow 2 \text{ € pour } 48 \text{ MJ}$$

