

TD Thme 2

A

1) a) $m = m_v + m_L$
 $x = \frac{v - v_L}{v_v - v_L}$

$$\begin{cases} m_L = (1-x)m \\ m_v = x.m \end{cases}$$

$x=0: v=v_L$ liquide saturé
 $x=1: v=v_v$ vapeur saturée

$$\begin{cases} H_L = m_L \cdot h_L \\ H_v = m_v \cdot h_v \end{cases}$$

b) $H = H_L + H_v = m_L h_L + m_v h_v = (1-x)m h_L + x m h_v.$ $\xrightarrow{x \rightarrow 0} m h_L$
 $\xrightarrow{x \rightarrow 1} m h_v.$

c). état 1: liquide saturé $x=0$ $P=0,7 \text{ MPa}$.

⇒ extrapolation des tables entre 0,45 et 0,75 MPa.

$$H_1 = \frac{H_i - H_j}{P_i - P_j} (P - P_i) + H_i = \frac{623,25 - 709,47}{0,45 - 0,75} (0,7 - 0,45) + 623,25 = \underline{\underline{695,10 \text{ hJ/g}}}$$

$$T_1 = \frac{T_i - T_j}{P_i - P_j} (T - T_i) + T_i = \frac{147,93 - 167,78}{0,45 - 0,75} (0,7 - 0,45) + 147,93 = \underline{\underline{164,47^\circ\text{C}}}.$$

état 2: vapeur saturée $x=1$ $P=0,7 \text{ MPa}$.

$$H_2 = \frac{2743,9 - 2766,4}{0,45 - 0,75} (0,7 - 0,45) + 2743,9 = \underline{\underline{2762,7 \text{ hJ/g}}}.$$

$$T_2 = \underline{\underline{164,47^\circ\text{C}}}.$$

état 3: mélange liquide $x=0,9$ $P=15 \text{ hPa}$.

$$\begin{aligned} T_3 &= \underline{\underline{53,97^\circ\text{C}}} \text{ et } h_3 = (1-x)h_L + x h_v \\ &= 0,1 \times 225,95 + 0,9 \times 2599,1 = \underline{\underline{2361,78 \text{ hJ/g}}} \end{aligned}$$

état 4: mélange liquide $x=0,1$ $P=15 \text{ hPa}$

$$T_4 = \underline{\underline{53,97^\circ\text{C}}} \text{ et } h_4 = 0,9 \times 225,95 + 0,1 \times 2599,1 = \underline{\underline{263,26 \text{ hJ/g}}}$$

d) isobares: 1 → 2 et 3 → 4

isothermes: 1 → 2 et 3 → 4

état	x	$p \text{ hPa}$	$T^\circ\text{C}$
1	0	700	164,47
2	1	700	164,47
3	0,9	15	53,97
4	0,1	15	53,97

$$1 \rightarrow 2 \quad P = \text{cste} \quad \Delta H_{12} = Q_{12} \rightarrow \frac{Q_{12}}{m} = h_2 - h_1 \\ = 2762,70 - 695,10 = \underline{\underline{2067,60 \text{ hJ/kg}}}$$

13

$$3 \rightarrow 4. \quad P = \text{cste} \quad \Delta H_{34} = Q_{34} \rightarrow \frac{Q_{34}}{m} = h_4 - h_3 \\ = 463,76 - 2367,78 = \underline{\underline{-1898,52 \text{ hJ/kg}}}$$

e) $\Delta H = mc(T_f - T_i) = 0$ si isotherme

Pour (1) \rightarrow (2) : $\Delta H > 0 \Rightarrow$ l'apport de chaleur est utilisé pour vaporiser l'eau.

Pour (3) \rightarrow (4) : $\Delta H < 0 \Rightarrow$ la condensation de la vapeur dégage de la chaleur.

f) $Q = m L_v \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$ et multiple $[\text{hJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$

g) (1) \rightarrow (2) toute l'eau liquide a été évaporée ($x=0 \rightarrow x=1$).

$$\Delta H_{1 \rightarrow 2} = Q_{1 \rightarrow 2} = m L_v \Rightarrow L_v = h_2 - h_1 = \underline{\underline{2067,60 \text{ hJ/kg}}}$$

(3) \rightarrow (4) une partie de la vapeur s'est condensée ($x=0,9 \rightarrow x=0,1$).

$$\begin{aligned} x = 0,9 \rightarrow m_v &= 0,9 \text{ m.} \\ x = 0,1 \rightarrow m_v &= 0,1 \text{ m.} \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \text{masse d'eau condensée} \\ = \underline{\underline{0,8 \text{ m.}}} \end{array} \right\} (80\% \text{ en masse})$$

condensation $\Rightarrow -L_v$ est à considérer

d'où : $Q_{3 \rightarrow 4} = m_v (-L_v) \Rightarrow L_v = \frac{h_3 - h_4}{0,8 \text{ m.}} = \frac{1898,52}{0,8} = \underline{\underline{2373,15 \text{ hJ/kg}}}$

h) Formule de Raoult : $L_v = 599,5 - 0,592 \Theta \quad [\text{hcal} \cdot \text{kg}^{-1}]$

$$\text{ou } L_v = 2501,61 - 2,4785 \Theta \quad [\text{hJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

$$\Theta = 164,47^\circ \Rightarrow L_v^{(1)} = 2093,96 \text{ hJ/kg} \quad // \quad 2067,60 \text{ hJ/kg}$$

$$\Theta = 53,97^\circ \Rightarrow L_v^{(2)} = 2367,84 \text{ hJ/kg} \quad // \quad 2373,15 \text{ hJ/kg}$$

$$\text{err} = \left| \frac{L_v - L_v^{\text{true}}}{L_v^{\text{true}}} \right| \times 100 = \left| \frac{2093,96 - 2067,60}{2067,60} \right| = 1,3\%$$

$$= \left| \frac{2367,84 - 2373,15}{2373,15} \right| = 0,2\%$$

i). (1) \rightarrow (2) isothermes $\rightarrow T = T_H = 164,47^\circ C$

$$\Delta S_1^2 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = \frac{1}{T_H} \cdot \int_1^2 dQ \Rightarrow \Delta S_1^2 = \frac{Q_{1 \rightarrow 2}}{T_H} = \frac{2067,60}{164,47 + 273,15} = 4,725 \text{ J/K}$$

(3) \rightarrow (4) isotherme $\rightarrow T = T_F = 53,97^\circ C$

$$\Delta S_3^4 = \frac{Q_{3 \rightarrow 4}}{T_F} = \frac{-1838,52}{53,97 + 273,15} = -5,804 \text{ J/K}$$

$$\Delta_2^3 S = \Delta S_4^1 = 0 \text{ J/K} \quad (\text{adiabatische R\ddot{a}umlichkeit})$$

Durch Isentropes: $s_1 = \frac{1,8207 - 2,020(0,7 - 0,45)}{0,45 - 0,7} + 1,8207 = 1,9868 \text{ J/K}$.

$$s_2 = \frac{6,8565 - 6,6847(0,7 - 0,45)}{0,45 - 0,7} + 6,8565 = 6,7133 \text{ J/K}$$

$$\Rightarrow \Delta_1^2 S = s_2 - s_1 = 4,727 \text{ J/K} // 4,725 \text{ J/K}$$

$$s_3 = 0,1 \times 0,7549 + 0,9 \times 8,0085 = 7,283 \text{ J/K}$$

$$s_4 = 0,9 \times 0,7549 + 0,1 \times 8,0085 = 1,480 \text{ J/K}$$

$$\Delta_3^4 S = s_4 - s_3 = -5,803 \text{ J/K} // -5,804 \text{ J/K}$$

Rechenweg: $s_1 - s_2 = (1-x_2)s_L + x_2 s_V - (1-x_3)s_L - x_3 s_V$
 $= (x_3 - x_2)s_L + (x_2 - x_3)s_V$

i) $\Delta S_{\text{cycle}} = \sum \Delta S_i^j = -1,079 \text{ J/K} \quad (\text{calcol})$
 $= -1,076 \text{ J/K} \quad (\text{Tabelle})$

$\Rightarrow \Delta S_{\text{cycle}} < 0 \Rightarrow$ il g. a des ir\ddot{a}umschleifis!

2) a) masse 1 (d'air = $\nu_{\text{air}} \times M_{\text{air}}$)

10

$$M_{\text{air}} = 0,78 M_{N_2} + 0,21 M_{O_2} + 0,009 M_{Ar} + 0,0003 M_{CO_2}$$

$$= 0,78 \times 28 + 0,21 \times 32 + 0,009 \times 40 + 0,0003 \times 44$$

$$\underline{M_{\text{air}} = 28,93 \text{ g/mol.}}$$

$$\text{et } n = \frac{PV}{RT} = \frac{101325 \times 10^{-3}}{8,314 \times 273,15} = 44,62 \cdot 10^{-3} \text{ mol/litre.}$$

$$\Rightarrow \text{masse 1 litre d'air} = m = n \cdot M_{\text{air}} = \underline{1,29 \text{ g.}}$$

$$\begin{aligned} b) \quad q &= \epsilon \frac{e}{P-e} = \frac{Pe}{Pd} = \frac{m_e}{md} & P = (RT \\ &= \frac{M_e}{Md} \frac{e}{P-e} & \rightarrow P = \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \\ && \rightarrow P_2 = \frac{T_2}{T_1} \cdot P_1. \end{aligned}$$

$$e(15^\circ\text{C}) = 1704 \text{ Pa.}$$

$$P(15^\circ\text{C}) = \frac{288,16}{273,16} \cdot 101325 = 106889 \text{ Pa.}$$

$$q = 0,622 \cdot \frac{1704}{106889 - 1704} = \underline{10,07 \text{ g/kg}} \quad (\approx \epsilon \frac{e}{P}).$$

$$c) \quad e = HR \times e_{\text{sat}}$$

$$e = 0,82 \times e_{\text{sat}}(9,3^\circ\text{C}) = 0,82 \times 1170,8 = \underline{960,06 \text{ Pa.}}$$

$$P(9,3^\circ\text{C}) = 101325 \cdot \frac{282,6}{273,16} = 104771,71 \text{ Pa.}$$

$$q = 0,622 \cdot \frac{960,06}{104771,71 - 960,06} = \underline{5,75 \text{ g/kg.}}$$

3) $V = 1 \text{ m}^3$

11)

$$T_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$\varphi_1 = 50\%$$

$$P_1 = 1 \text{ bar}$$

12)

$$T_2 = 20^\circ\text{C}$$

$$\varphi_2 = ?$$

$$P_2 = 10 \text{ bar}$$

a) $q_1 = \frac{0,622 e(T_1)}{P - e(T_1)}$ et $e(T_1) = \varphi_1 \cdot esat(T_1)$. (E)
 $= 0,5 \times 2337 = 1168,5 \text{ Pa}$

$$\Rightarrow q_1 = \frac{0,622 \times 1168,5}{10^5 - 1168,5} = \underline{\underline{7,35 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^2/\text{kg air sec}}}$$

b) $P_2 = 10 \text{ bars}$ et vapeur saturé $\Rightarrow esat = e(T_2) \Rightarrow \varphi_2 = 100\%$
 $= \underline{\underline{\frac{e(T_2)}{esat}}}$

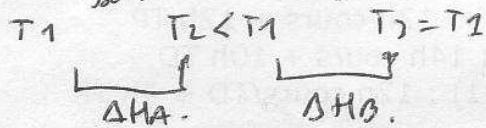
$$\Rightarrow q_2 = \frac{0,622 \times e(T_2)}{P_2 - esat(T_1)} = \frac{0,622 \cdot esat(T_1)}{P_2 - esat(T_1)} = \frac{0,622 \times 2337}{10 \cdot 10^5 - 2337}$$

$$q_2 = \underline{\underline{1,46 \cdot 10^{-3} \text{ kg/kg}}}$$

c) $\frac{mec}{md} = q_1 - q_2 = 7,35 - 1,46 \cdot 10^{-3} = \underline{\underline{5,89 \text{ g_eau/kg_eau}}}$

4°) a) refroidissement au cours d'un échange de la vapeur

1) refroidi 2) vaporisé 3).



$$\Delta HA + \Delta HB = 0$$

$$C(T_2 - T_1) + x L_V(T_2) = 0$$

$$\Rightarrow x = \frac{C(T_1 - T_2)}{L_V(T_2)}$$

$$\text{d'où } x = \frac{1,38 \times (705 - 273)}{244,5} = \underline{\underline{18,1\%}}$$

$$\Delta S_1 = \Delta S_A + \Delta S_B = \int_1^2 C \frac{dT}{T} + x \frac{L_V(T_2)}{T_2} = C \ln \frac{T_2}{T_1} + x \frac{L_V(T_2)}{T_2}$$

~~$$= C \ln \frac{273}{705} + x \frac{273}{705}$$~~

$$= C \ln \frac{T_2}{T_1} + C \frac{(T_1 - T_2)}{T_2} = C \ln \frac{T_2}{T_1} - C \left(1 - \frac{T_1}{T_2} \right)$$

$$\underline{\underline{\Delta S_1 = 8,8 \cdot \text{J/kg}}}.$$

b) dans l'évaporateur, le reste du cycle se répète

EF

$$q_2 = \Delta h_2 = (1-x_c) \cdot h_v(T_2) = (1-0,182) \cdot 266,5 = \underline{\underline{200,25 \text{ hJ/kg}}}$$

$$\Delta s_2 = \frac{(1-x_c) h_v(T_2)}{T_2} = \underline{\underline{733,5 \text{ J/kg}}}$$

$$c) \cdot \frac{P_1^{1-\gamma}}{T_3} = \frac{P_2^{1-\gamma}}{T_2} \Rightarrow T_3 = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \cdot T_2 = \underline{\underline{318,7 \text{ K}}}$$

équivalent à $\dot{w}_3 = h_s - h_c = c_p (T_3 - T_2)$

$$\text{or } c_p - c_v = \frac{R}{\gamma} \Rightarrow c_p (1 - \frac{1}{\gamma}) = \frac{R}{\gamma} \Rightarrow c_p = \frac{R}{\gamma} \frac{\gamma}{\gamma-1} = 576 \text{ J/kgK}$$

$$\Rightarrow \dot{w}_3 = \frac{R}{\gamma} \frac{\gamma}{\gamma-1} (T_3 - T_2) = \frac{8314}{86,5 \cdot 10^3} \cdot \frac{1,2}{1,2-1} (318,7 - 273)$$

$$\dot{w}_3 = \underline{\underline{26,35 \text{ hJ/kg}}}$$

$$\Delta s_3 = 0 \text{ (adiabatique reversible)}$$

d) dans le condenseur liquéfaction du fluide gazeux complètent!

$$\begin{array}{ccc} 1) & \xrightarrow{\text{refroidissement}} & 2) \xrightarrow{\text{liquéfaction}} 3) \\ T_3, P_2 & \xrightarrow{\text{irversible}} & T_1, P_1 \\ \Delta H_C & & \Delta H_D \end{array}$$

$$\begin{aligned} q_4 &= \Delta h_C + \Delta h_D = \frac{R}{\gamma} \frac{\gamma}{\gamma-1} (T_1 - T_3) + h_v(T_1) \\ &\quad \uparrow \text{7300 J/kgK} \quad \uparrow \text{liquéfaction} \\ &= 7.900 \cdot -219.10^3 - \underline{\underline{226,9 \text{ hJ/kg}}} \end{aligned}$$

$$\Delta s_4 = \Delta s_C + \Delta s_D = \frac{R}{\gamma} \frac{\gamma}{\gamma-1} \ln \left(\frac{T_1}{T_3} \right) - \frac{h_v(T_1)}{T_1}$$

$$\Delta s_4 = 576 \cdot \ln \frac{305}{318,7} - \frac{219.10^3}{305} = \underline{\underline{-743,4 \text{ J/kg}}}$$

e) $\oint \delta Q = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4$

$$= 0 + q_2 + w_3 + q_4 = 0 + 200,25 + 26,35 - 226,90 = -0,3 \text{ hJ/kg}$$

$$\oint \delta S = \delta S_1 + \delta S_2 + \delta S_3, \delta S_4$$

10

$$= 88 + 733,5 + 0 - 743,4 = \underline{-115 \text{ J/kg}} \Leftrightarrow = 0!$$

~~↓ incorrect!!~~

RQG:

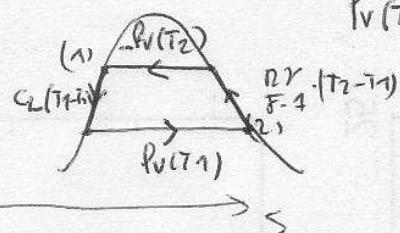
T

↑

T₂

T₁

S



$$P_v(T_1) = l_v(T_1) + c_L(T_1)$$

$$(1) \rightarrow (2): P_v(T_2) + \frac{nR}{k-1} (T_1 - T_2)$$

$$(1) \rightarrow (2): c_L(T_1 - T_2) + l_v(T_1)$$

$$\Rightarrow \Delta H_{12}^{(a)} = \Delta H_{12}^{(b)} \Rightarrow \oint \delta H = 0$$

$$\oint \delta H = (1-\alpha) l_v(T_2) + \frac{n \cdot R}{k(k-1)} (T_1 - T_2) + \frac{n}{m} \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2) - l_v(T_1)$$

$$= \left[1 - \frac{c_L(T_2 - T_1)}{l_v(T_2)} \right] l_v(T_2) + \frac{n}{m} \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2) + \frac{n}{m} \frac{R}{k-2} (T_1 - T_2) - l_v(T_1)$$

$$= \underbrace{l_v(T_2)}_{\text{constant}} + \underbrace{c_L(T_1 - T_2)}_{\text{constant}} + \underbrace{\frac{n}{m} \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2)}_{\text{constant}} - \underbrace{l_v(T_1)}_{\text{constant}}$$

$$= 0!$$

\Rightarrow idem p zu δS !

$$\text{• motor dientig} \quad \eta_m = 0,6 \Rightarrow w_3' = \frac{w_3}{\eta_m} = 32,94 \text{ kJ/kg}$$

$$COP = \frac{-q_4}{w_1} = \frac{+226,9}{32,94} = 6,9$$

~~COP = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{273}{205} = 1 - \frac{205}{273} = 0,7~~

1 kWh customer $\rightarrow 6,9 \text{ kWh}$ Abwärme restheiz.

(1 kWh Abwärme restheiz si dientig dientig!).