

① Caractéristique de l'air humide extérieur

$$P_1 = 1,013 \text{ bar}, \quad T_1 = 30^\circ\text{C}, \quad x_1 = 21,6 \cdot 10^{-3} \text{ kg d'eau / kg d'air sec}$$

L'air humide se comporte comme un mélange de gaz parfaits.

On a :

$$x = \frac{m_e}{m_a} = \frac{M_e n_e}{M_a n_a} = \frac{M_e n_e}{M_a (n - n_e)} = \frac{M_e \varphi_e}{M_a (1 - \varphi_e)}$$

$$\Rightarrow x(1 - \varphi_e) = \frac{M_e \varphi_e}{M_a} \Leftrightarrow \varphi_e = \frac{x}{x + \frac{M_e}{M_a}} \quad \text{ou} \quad \begin{cases} M_e = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \\ M_a = 29 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \end{cases}$$

$$\varphi_e = 3,36 \cdot 10^{-2} \quad P_{e1} = \varphi_e P_1 = 34,1 \text{ mbar}$$

$$P_{vs1} = 42,41 \text{ mbar} \quad (\text{table})$$

$$P_{vs2} = 43,43 \text{ mbar} \quad (\text{Clausius})$$

} les valeurs sont assez proches pour les calculs on prendra celle issue des tables thermodynamiques

$$\varphi = \frac{P_{e1}}{P_{vs1}} = 80\% \text{ d'humidité}$$

② Enthalpie de l'air humide :

Air sec se comporte comme un gaz parfait $h_a = C_{pa}(T - T_0) = C_{pa}T$ avec $T_0 = 0^\circ\text{C}$

$$C_{pa} = \frac{\gamma_a R_a}{\gamma_a - 1} = 1003,4 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Vapeur d'eau : assimilable à un gaz parfait car très diluée. Pour l'eau, la référence prise au point triple ($T_K = 0,01^\circ\text{C}$) est une enthalpie massique nulle pour la phase liquide

$$\Rightarrow h_e = C_{pe}T + L_e(0^\circ\text{C})$$

$$C_{pe} = \frac{\gamma_e R_e}{\gamma_e - 1} = 1861,6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Pour l'air humide : $H = m_a h_a + m_e h_e = m_a (h_a + x h_e) = m_a h$ où h est l'enthalpie par kilogramme d'air sec

$$h_1 = 85,3 \text{ kJ} \cdot (\text{kg d'air sec})^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \quad \text{cohérent avec le diagramme}$$

③ Pressions :

$$\Delta P_{\text{refroidisseur}} = 0,02 \text{ bar} = P_3 - P_2 \Rightarrow P_2 = 1,07 \text{ bar}$$

$$\Delta P_{\text{chauffeur}} = 0,02 \text{ bar} = P_3 - P_4 \Rightarrow P_3 - P_4 = 1,05 \text{ bar}$$

$$\Delta P_{\text{total}} = 0,017 \text{ bar} = P_6 - P_5 \Rightarrow P_5 = 1,03 \text{ bar}$$

$$P_6 = 1,03 \text{ bar}$$

$$P_3 = P_4$$

$$\dot{m} = \dot{m}_1 = 0,1 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} = \dot{m}_a + \dot{m}_{e1} = \dot{m}_a (1 + x_1) \Rightarrow \dot{m}_a = 0,0973 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

(On n'a pas de variation de \dot{m}_a dans l'installation)

④ Circulateur :

Au point ②, l'air humide a subi une légère compression et on a à priori pas de changement de phase. Donc $x_2 = x_1 = 21,6 \cdot 10^{-3} \text{ kg d'eau / kg d'air sec}$

$$\text{On prend } t_2 = 37^\circ \text{C} \Rightarrow P_{vs,2} = 60 \text{ mbar (table)}$$

$$y_{e2} = \frac{x_2}{x_2 + \frac{M_e}{M_a}} = 3,36 \cdot 10^{-2} \quad P_{e2} = y_{e2} P_2 = 35,6 \text{ mbar}$$

$$\phi_2 = 60\% \quad (\text{cohérent avec le diagramme})$$

$$h_2 = 92,6 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} (\text{kg d'air sec})^{-1}$$

$$\text{1}^{\text{er}} \text{ principe appliqué au circulateur } \dot{m}_a (h_2 - h_1) = W_c = 0,7 \text{ kW}$$

⑤ Bilan de masse :

$$\phi_5 = 60\% \quad \text{et } t_5' = 15 \leq t \leq t_5 = 24^\circ \text{C}$$

$$t_5 = 24^\circ \text{C}$$

$$\phi_5 = \frac{P_{e5}}{P_{vs5}} \quad \text{on a } P_{vs5} = 30 \text{ mbar (table)} \Rightarrow P_{e5} = 18 \text{ mbar}, \quad y_{e5} = \frac{P_{e5}}{P_5} = 1,75 \cdot 10^{-2}$$

$$x_5 = \frac{M_e}{M_a} \frac{P_{e5}}{P_5 - P_{e5}} = 11 \cdot 10^{-3} \text{ kg d'eau / kg d'air sec}$$

$$h_5 = 52 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} (\text{kg d'air sec})^{-1}$$

$$\text{bilan de masse } \dot{m} = \dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_3 + \dot{m}_4 \quad \text{avec } \dot{m}_3 = \dot{m}_5 = \dot{m}_6$$

$$\Rightarrow \dot{m}_4 = \dot{m}_1 - \dot{m}_5 = \dot{m}_a (1 + x_1) - \dot{m}_a (1 + x_5) = \dot{m}_a (x_1 - x_5) = 1 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$t_5' = 15^\circ\text{C} \quad P_{v5}' = 17 \text{ mbar (table)}$$

$$\rightarrow P_{e5} = 10,2 \text{ mbar} \quad \gamma_{e5}' = 1 \cdot 10^{-2} \quad x_{5}' = 6 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kg d'eau}}{\text{kg d'air}} \quad h_{5}' = 30 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (\text{kg d'air sec})^{-1}$$

$$\dot{m}_4' = 1,5 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$$

⑥ Bilan d'énergie :

Au point 3 on a l'équilibre entre phases $\varphi_3 = \varphi_3' = 100\%$

Comme il n'y a pas de condensation dans le réchauffeur on a

$$x_3 = x_5 = 11 \text{ g d'eau / kg d'air sec}$$

$$x_3' = x_5' = 6 \text{ g d'eau / kg d'air sec}$$

$$P_{e3} = \frac{x_3}{x_3 + \frac{M_e}{M_a}} = 17,4 \text{ mbar} = P_{v3} \Rightarrow t_3 = 15^\circ\text{C} \quad (< t_5 = 21^\circ\text{C})$$

$$P_{e3}' = \frac{x_3'}{x_3' + \frac{M_e}{M_a}} = 9,6 \text{ mbar} = P_{v3}' \Rightarrow t_3' = 6^\circ\text{C} \quad (< t_5' = 15^\circ\text{C})$$

⑦ Bilan d'énergie :

1^{er} principe pour le refroidisseur

$$\dot{m}_a h_3(t_3, x_3) + \dot{m}_4 h_2(t_3) - \dot{m}_a h_2(t_2, x_2) = \dot{Q}_{23}^0$$

$$h_3 = 42,9 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (\text{kg d'air sec})^{-1}$$

$$h_3' = 21,1 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (\text{kg d'air sec})^{-1}$$

$$h_2 = c_{p2} t \quad \text{avec} \quad c_{p2} = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \dot{Q}_{23}^0 = -4 \text{ kW} \\ \dot{Q}_{23}'^0 = -6,2 \text{ kW} \end{cases}$$

1^{er} principe pour le réchauffeur

$$\dot{m}_a (h_5 - h_3) = \dot{Q}_{35}^0$$

$$\dot{Q}_{35}^0 = 0,89 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{35}'^0 = 0,87 \text{ kW}$$

On peut utiliser un cycle dittherme pour réaliser le refroidissement et le chauffage.

Points	T (°C)	P (bar)	x (kg/kg air)	ϕ_v	h (kJ / kg)	Ψ
1						
2						
3						
3'						
4						
5						
5'						
6						

Air humide

