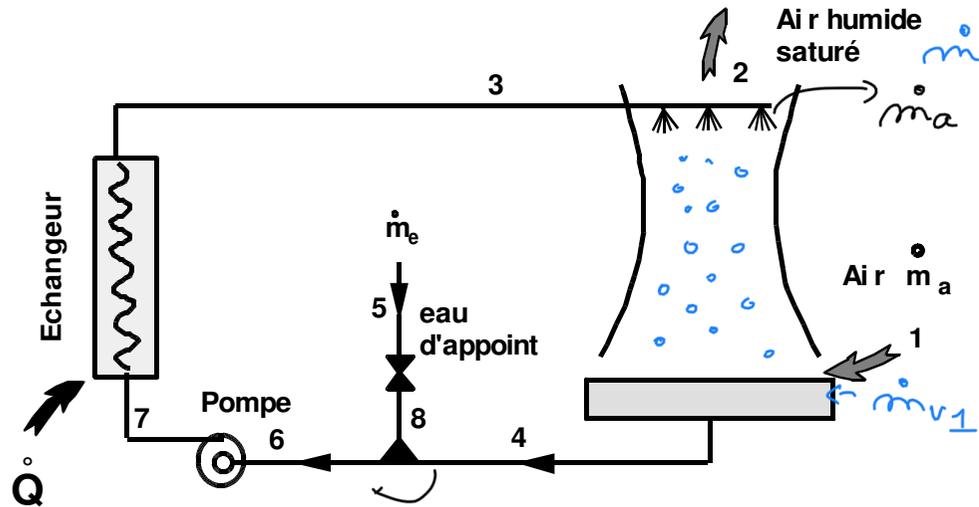


Tour de refroidissement



Un réfrigérant atmosphérique reçoit par heure 1.200 m^3 d'eau à 35°C en provenance d'un circuit d'utilisation qui reçoit par heure 10 millions de kilocalories.

L'eau d'appoint qui doit être introduite dans le circuit est à 12°C .

L'air atmosphérique, à son entrée dans le circuit est à 15°C et son degré hygrométrique est de 70 %. En sortie, il est saturé et sa température est de 25°C .

	air 1	vap 1	air 2	vap 2	3	4	5	6	7	8
T ($^\circ\text{C}$)	15	15	25	25	35	26,9	12	26,7	26,7	12
m (kg/s)	275	2,06	275	5,58	333	329,77	3,52	333	333	3,52
h (kJ/kg)	15,06	$2,53 \cdot 10^3$	25,12	$2,55 \cdot 10^3$	146,65	112,4	50,28	111,8	111,8	50,28

1) Principe de fonctionnement

L'eau à refroidir en 3 est injectée en haut de la tour sous forme de gouttelettes dans un écoulement d'air à contre courant. Une partie des gouttelettes se vaporisent ce qui provoque un refroidissement du liquide. L'air entre en bas de la tour avec une certaine humidité et sort saturé en haut. La vapeur d'eau extraite doit être compensée par le débit d'eau d'appoint mis en 5.

2) Calcul de l'humidité absolue de l'air

En entrée air à 15°C

$$\psi = 70\% = \frac{P_v}{P_{\text{sat}}(T)} \rightarrow 17,04 \text{ mb}$$

$$P_v = 11,93 \text{ mb} \\ = 0,01193 \text{ b}$$

$$x_1 = \frac{P_v}{P - P_v} \times \frac{\mu_{\text{H}_2\text{O}}}{M_a} = \frac{\psi}{1 - \psi} \times \frac{M_v}{M_a} = 7,49 \cdot 10^{-3}$$

$$\psi = \frac{P_v}{P} = 0,01193 \\ P = P_a + P_v = 1 \text{ b}$$

$$M_a = 29 \text{ g/mol}$$

$$M_v = 18 \text{ g/mol}$$

$$x_1 = \frac{\dot{m}_{v1}}{\dot{m}_{a1}}$$

En sortie

L'air est saturé et à 25°C

$$\psi = 1$$

$$P_{v_2} = P_{\text{sat}}(25^{\circ}\text{C}) = 31,66 \text{ mb}$$

$$\varphi_{v_2} = 0,03166$$

$$x_2 = 0,0203$$

3) Bilan de masse

$$\dot{m}_4 + \dot{m}_e = \dot{m}_6 = \dot{m}_7 = \dot{m}_3 = 333 \text{ kg/s} \quad \dot{m}_8 = \dot{m}_5 = \dot{m}_e$$

$$\dot{m}_{v1} = \dot{m}_a x_1$$

$$\dot{m}_e = \dot{m}_{v2} - \dot{m}_{v1}$$

$$\dot{m}_{v2} = \dot{m}_a x_2$$

$$\dot{m}_e = \dot{m}_a (x_2 - x_1)$$

$$Q_6 = 1200 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{m}_6 = \frac{Q_6}{v_e} \frac{1}{3600} = \frac{1200}{10^{-3} \times 3600} = 333,3 \text{ kg/s}$$

Bilan d'enthalpie

$$h_5 = c_{pL} (T_5 - T_0) = 4,186 \times 12 = 50,28 \text{ kJ/kg}$$

$$T_0 = 0,01^{\circ}\text{C} = 273,16 \text{ K}$$

Entre 8 et 5 ramme de détente \rightarrow isenthalpique $h_8 = h_5$

$$\dot{m}_e h_8 + \dot{m}_4 h_4 = \dot{m}_6 h_6$$

$$\dot{m}_e h_8 + (\dot{m}_6 - \dot{m}_e) h_4 = \dot{m}_6 h_6$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_6 (h_3 - h_7) = \dot{m}_6 (h_3 - h_6)$$

$$\text{Pompe } \Delta H = \dot{m}_6 \int v dP = \dot{m}_6 v_e (P_7 - P_6)$$

$$\dot{Q} = 10^7 \text{ kcal/h} = \frac{4,18 \cdot 10^7}{3600} = \frac{4,18 \cdot 10^4}{36} = 11,6 \cdot 10^3 \text{ kW}$$

$$h_3 - h_7 = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_6} = 34,83 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Tour de } 10 \text{ m} \quad \Delta P \approx 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} \quad (\text{estimation})$$

$$\frac{\dot{W}_{\text{p}}}{\dot{m}_6} = 10^5 \times 10^{-3} \approx 100 \text{ J/kg}$$

$$w_{\text{pompe}} \ll h_3 - h_7$$

$$h_6 = h_7$$

Au niveau de la tour

$$\dot{m}_6 h_3 + \dot{m}_a \underline{h_{a1}} + \dot{m}_{v1} \underline{h_{v1}} = \dot{m}_a \underline{h_{a2}} + \dot{m}_{v2} \underline{h_{v2}} + \dot{m}_4 h_4$$

$$h_a = c_{pa} (T - T_0)$$

$$c_{pa} = 1,005 \text{ kJ/kgK}$$

$$h_v = (c_{pv} (T - T_0) + L_v)$$

$$c_{pr} = 1,82 \text{ kJ/kg/K}$$

$$L_v = 2501 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m}_6 h_6 + \dot{Q} - \dot{m}_4 h_4 = \dot{m}_a (h_{a2} - h_{a1} + x_2 h_{v2} - x_1 h_{v1})$$

$$\dot{m}_e h_8 + \dot{Q} = \dot{m}_a (x_2 - x_1) h_8 + \dot{Q}$$

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{Q}}{h_{a2} - h_{a1} + x_2 h_{v2} - x_1 h_{v1} - (x_2 - x_1) h_8} = 275 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_e = \dot{m}_a (x_2 - x_1) = 3,52 \text{ kg/s}$$

$$h_3 = h_6 + \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_6} \rightarrow h_6 = 111,8 \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 = \frac{\dot{m}_6 h_6 - \dot{m}_e h_8}{\dot{m}_4} = 112,4 \text{ kJ/kg}$$