

MCG 2531 THERMODYNAMIQUE II

Chapitre 11, partie 3 - Applications psychrométriques

I- Qu'est-ce qu'une évolution de saturation adiabatique?

☐

- 1- Température de saturation adiabatique
- 2- Calcul de l'humidité relative et absolue

☐
☐

II- Qu'est-ce qu'un diagramme psychrométrique?

☐

- 1- Température du thermomètre sec
- 2- Température du thermomètre humide
- 3- Diagramme : construction et utilisation
- 4- Lien diagramme psychrométrique diagramme T-v

☐
☐
☐
☐

III- Quelles sont les principales applications psychrométriques en ingénierie?

☐

- 1- Déshumidification
- 2- Humidification
- 3- Refroidissement par évaporation
- 4- Tour de refroidissement

☐
☐
☐
☐

Références: Chapitre 11 (Van Wylen, Sonntag, Desrochers, 2e édition), sections 11.5-11.6

Problèmes suggérés : (Réponses)

- S-2 0.0022 kg/kg air sec
- S-5 -610 BTU/min , 0.11786 lb/min
- 11.15 -33.4 kW
- 11.21 a) 0.0287 kg/kg air sec, 1.6 Celsius b) -1.05 kW
- S-4 -23.5 kJ/kg air sec, 0.004 kg/kg air sec
- 11.27 5.06 kg/s, 0.0276
- S-6 0.36
- S-1 7 kW
- S-3 20 Celsius, 70%

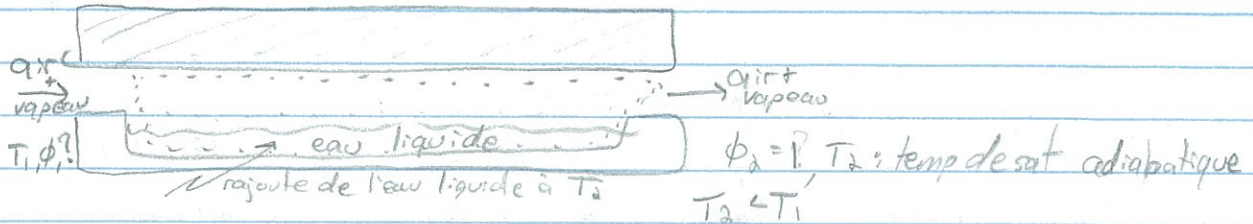
“Exigez de vous-même la perfection et vous l’atteindrez rarement.
La peur de faire une erreur est la plus grande cause d’erreur.
Relaxez - visez l’excellence et non la perfection”

- Bud Winter

8

Chapitre II, partie 3 - Applications psychrométriques 6 Février 2015

I. Évolution de saturation adiabatique



$T_2 < T_1$ car on va donner de l'énergie à l'eau liquide pour s'évaporer.

Hypothèses: a) ERP d) $\dot{W}_{ce} = 0$ } Comasse: $d\dot{m}_{ce}/dt = \sum \dot{m}_{ie} - \sum \dot{m}_{is}$
 b) Gaz parfait d) $\Delta E_p = 0 = \Delta E_c$ } $\sum \dot{m}_{ie} = \sum \dot{m}_{is}$
 e) $\dot{Q}_{ce} = 0$ } $\dot{m}_{a1} + \dot{m}_{v1} + \dot{m}_{l1} = \dot{m}_{a2} + \dot{m}_{v2}$
 * $\dot{m}_{a2} = \dot{m}_{a1}$

$\therefore \dot{m}_{v1} + \dot{m}_{l1} = \dot{m}_{v2} \Rightarrow$ on divise par \dot{m}_{a1}

$$\frac{\dot{m}_{v1}}{\dot{m}_{a1}} + \frac{\dot{m}_{l1}}{\dot{m}_{a1}} = \frac{\dot{m}_{v2}}{\dot{m}_{a1}} = \frac{\dot{m}_{v2}}{\dot{m}_{a2}}$$

$$w_1 + \frac{\dot{m}_{l1}}{\dot{m}_{a1}} = w_2 \rightarrow \frac{\dot{m}_{l1}}{\dot{m}_{a1}} = (w_2 - w_1)$$

1^{er} Principe simplifié: $\sum \dot{m}_{ie} h_e = \sum \dot{m}_{is} h_s$

$\dot{m}_{a1} h_{a1} + \dot{m}_{v1} h_{v1} + \dot{m}_{l1} h_{l1} = \dot{m}_{a2} h_{a2} + \dot{m}_{v2} h_{v2} \Rightarrow$ on divise par \dot{m}_{a1}

$$h_{a1} + w_1 h_{v1} + (w_2 - w_1) h_{l1} = h_{a2} + w_2 h_{v2}$$

$$w_1 (h_{v1} - h_{l1}) = (h_{a2} - h_{a1}) + w_2 (h_{v2} - h_{l1})$$

$$w_1 (h_{v1} - h_{l1}) = c_{pa} (T_{a2} - T_{a1}) + w_2 (h_{v2} - h_{l1}) \rightarrow h_{v1} = h_{v,sat}@T_1$$

$$h_{l1} = h_{l,sat}@T_2$$

$$h_{v2} = h_{v,sat}@T_2$$

$$c_{pa} \checkmark T_{a2} \checkmark T_{a1} \checkmark$$

* $\phi_2 = 1 \Rightarrow 0,622 \phi_2 \frac{P_{g2}}{P_{a2}} = w_2$

* $P_{tot2} = P_{a2} + P_{v2} = P_{a2} + P_{g2}@T_2 \Rightarrow$ On peut trouver w_1 (et donc ϕ_1)

II) Température du thermomètre sec et humide

$$T_{\text{humide}} \approx T_{\text{adiabatique}} \quad \left\{ \begin{array}{l} P \approx 1 \text{ atm} \\ T \approx T_{\text{atm}} \end{array} \right. \Rightarrow \text{va nous permettre de mesurer } \phi, w \text{ rapidement}$$

Diagramme psychrométrique

→ Construction

$$\bullet P_{\text{total}} = 1 \text{ atm}$$

$$\bullet T_{\text{sec}} \Rightarrow \text{l'axe des } X$$

$$\bullet w \Rightarrow \text{l'axe des } Y$$

30% OPH 1 atm
Fixe $T_{\text{sec}}, w, P_{\text{tot}}$

$$\hookrightarrow P_g(T_{\text{sec}})$$

$$\hookrightarrow w = 0,622 \frac{P_v}{P_a}$$

$$= 0,622 \frac{P_v}{P_{\text{tot}} - P_v}$$

$$\hookrightarrow P_v$$

$$P_{\text{tot}} = P_v + P_a \Rightarrow P_a \Rightarrow \phi = \frac{w P_a}{0,622 P_g} \Rightarrow \phi$$

Pour humide: $w_1(h_{v1} - h_{e1}) = C_{pa}(T_{a2} - T_{a1}) + w_2(h_{v2} - h_{e1})$

$$\bullet w_1 \checkmark$$

$$\bullet h_{v1} = h_{v\text{sat}} @ T_{\text{sec}}$$

$$\bullet h_{e1} = h_{v\text{sat}} @ T_a @ T_{\text{humide}} ?$$

$$\bullet C_{pa} \checkmark$$

$$\bullet T_{a2} = T_a = T_{\text{humide}} ?$$

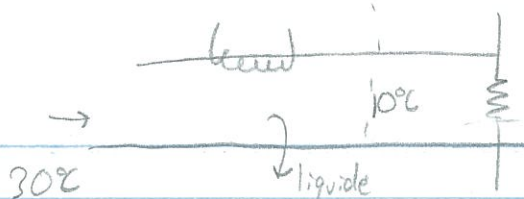
$$\bullet T_{a1} \checkmark$$

$$\bullet h_{v2} = h_{v\text{sat}} @ T_a @ T_{\text{humide}} ?$$

$$\bullet w_2 \Rightarrow \phi_2 = 1 - \frac{w_2 P_{a2}}{0,622 P_{g2}} = \frac{w_2 P_{\text{tot}2} - P_{v2}}{0,622 P_{v2}}$$

Par essais-erreurs, cherche T_a

Dehumidification



$$\phi = 50\%$$

$$\dot{V} = 280 \text{ m}^3/\text{min} \text{ (air + vapeur)}$$

$$\rho = 1,013 \text{ atm}$$

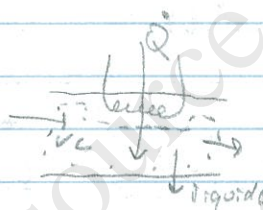
a) $\dot{m}_a = ?$ $\dot{m}_a = \frac{\dot{V}_a}{v_a} = \frac{280 \text{ m}^3/\text{min}}{p_a / (R_a T_a)} \rightarrow \text{cherche } p_a$

$$\ast \phi = 0.5 = \frac{P_v}{P_g @ 30^\circ\text{C}} = \frac{P_v}{4.246 \text{ kPa}} \Rightarrow P_v = 2.123 \text{ kPa}$$

$$P_a = P_{\text{tot}} - P_v \Rightarrow P_a = 100.493 \text{ kPa}$$

$\dot{m}_a = 5,393 \text{ kg/s}$

b) \dot{Q}_v ? à l'étape 1



Hypothesen: a) ERP

$$b) \dot{W}_c = 0$$

c) $\Delta E_p = 0 = \Delta E_c$

d) Gas parfait

$$dm/dt = E_{in} - E_{is}$$

$$m_{ae} + m_{ve} = m_{es} + m_{as} + m_{vs}, \quad m_{ae} = m_{as}$$

$$m_{ve} = m_{ls} + m_{rs} \Rightarrow \text{diverse par } m_{ae}$$

$$w_e = \frac{m_s}{m_s} + w_s$$

1er Principe simplifié: $Q_{\text{ext}} + m_{\text{che}} = E_{\text{mshs}}$

$$Q_{uv} + m_{ga}n_{ae} + m_{ve}n_{ve} = m_{er}n_{es} + m_{as}n_{as} + m_{vs}n_{vs}$$

$\text{Guc} + \text{mae}[\text{hae} + \text{wehve}] = \text{ma}^{\text{shes}} + \text{ma}^{\text{as}}(\text{has} + \text{wshvs})$ (*man)

$$Q_{vc} = -179 \text{ KJ/s}$$

avec la table psychro, $we @ 30^{\circ}C$ et $\phi = 0.5$

$$w_e = 0.01314$$

$$m_{as} = 5,393 \text{ kg/s}$$

* $w_s \Rightarrow \phi_2 = 100\%$ at $T_d = 10^\circ\text{C}$

$$\omega_s = 0,0076$$

* maintenant, on trouve nids

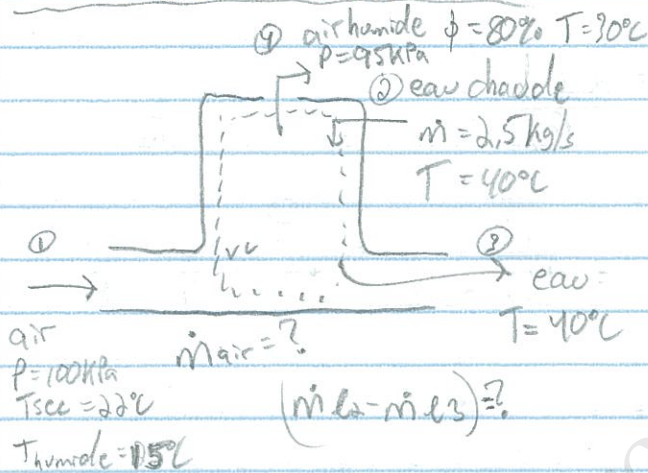
$$* h_{es} = h_{F@10^{\circ}\text{C}}$$

Humidification But: augmenter la quantité d'eau dans l'air

Refroidissement par évaporation But: ... Refroidir par évaporation

Tour de refroidissement

Prob. 11.27



Hypothèses: a) ERP

b) $\Delta E_F = 0 = \Delta E_C$

c) $\dot{W} = 0$

d) $\dot{Q} = 0$

e) Mélange GL air + vap d'eau

Conservation: $\frac{dm_{\text{eau}}}{dt} = \sum \dot{m}_e - \sum \dot{m}_s$

$\sum \dot{m}_e = \sum \dot{m}_s$

$\dot{m}_{a1} + \dot{m}_{w1} + \dot{m}_{e2} = \dot{m}_{a4} + \dot{m}_{w4} + \dot{m}_{e3}$

$\dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a4} = \dot{m}_{w1} + \dot{m}_{e2} = \dot{m}_{w4} + \dot{m}_{e3}$

divise par $\dot{m}_{a1} \Rightarrow w_1 + \frac{\dot{m}_{e2}}{\dot{m}_{a1}} = w_4 + \frac{\dot{m}_{e3}}{\dot{m}_{a1}}$

* $w_1 = 0.0078$ (diagram psy)

$\dot{m}_{e2} = 2.5 \text{ kg/s}$ $h_{e2} = h_f @ 40^\circ\text{C} = 167.57 \text{ kJ/kg}$

$w_4 = 0.0215$ (diagram psy)

$\dot{m}_{e3} = ?$ $h_{e3} = h_f @ 10^\circ\text{C} = 83.96 \text{ kJ/kg}$

$\dot{m}_{a1} = ?$

$$\dot{m}_{a1} \left[w_1 - w_4 + \frac{\dot{m}_{e2}}{\dot{m}_{a1}} \right] = \dot{m}_{e3}$$

1^{er} Principe: $\sum \dot{m}_e h_e + \sum \dot{m}_s h_s$

$\dot{m}_{a1} h_{a1} + \dot{m}_{w1} h_{w1} + \dot{m}_{e2} h_{e2} = \dot{m}_{a4} h_{a4} + \dot{m}_{w4} h_{w4} + \dot{m}_{e3} h_{e3}$

$\dot{m}_{a1} (h_{a1} + w_1 h_{w1}) + \dot{m}_{e2} h_{e2} = \dot{m}_{a1} (h_{a4} + w_4 h_{w4}) + \dot{m}_{e3} h_{e3}$

62 kJ/kg

105 kJ/kg

$\dot{m}_{a1} = 5.06 \text{ kg/s}$

$\dot{m}_{e2} - \dot{m}_{e3} = 0.069 \text{ kg/s}$

avec c.mass

MCG 2531 THERMODYNAMIQUE II

Chapitre 11, partie 3 - Problèmes supplémentaires

Problème S-1

De l'air à 20°C, 1 atm et 43% d'humidité relative entre dans un volume de contrôle avec un débit volumique de 900 m³/hr. À l'intérieur du volume, l'air s'écoule sur une surface maintenue à 65°C. De l'eau liquide est injectée dans le volume de contrôle à un taux de 5 kg/hr à 20°C et s'évapore dans l'écoulement. L'air ressort du volume à 32°C et 1 atm. Déterminer le taux de transfert de chaleur du volume de contrôle.

Problème S-2

De l'air initialement à 25°C, 1 atm et 50% d'humidité relative est refroidie à pression constante jusqu'à 10°C. En utilisant le diagramme psychrométrique, déterminer s'il y aura condensation. Évaluer la quantité d'eau condensée, en kg par kg d'air sec ou, s'il n'y a pas de condensation, déterminer l'humidité relative à la fin du processus.

Problème S-3

Un ventilateur opérant à l'intérieur d'une conduite entraîne de l'air humide. À la sortie de la conduite, l'air est à 22°C avec une humidité relative de 60% et un débit volumique de 0.5 m³/s. La puissance fournie au ventilateur est de 1.3 kW. Déterminer la température et l'humidité relative de l'air à l'entrée de la conduite.

Problème S-4

De l'air à 25°C, 1 atm et 65% d'humidité relative entre dans un déshumidificateur opérant en état de régime permanent. De l'air humide saturé et le liquide condensé ressortent séparément de l'appareil, chacun à 12°C. Déterminer:

- Le transfert de chaleur de l'air humide, en kJ par kg d'air sec.
- La quantité d'eau condensée, en kg par kg d'air sec.

Problème S-5

La Figure ci-dessous présente un compresseur suivi par un refroidisseur (aftercooler). De l'air à 14.7 lbf/in^2 , 90°F et 75% d'humidité relative entre dans le compresseur avec un débit volumique de $100 \text{ ft}^3/\text{min}$. L'air humide sortant du compresseur à 100 lbf/in^2 , 400°F s'écoule ensuite à travers un refroidisseur, où il est refroidi à pression constante jusqu'à l'état saturé à 100°F . L'eau condensée s'écoule aussi hors du refroidisseur à 100°F . Le taux de transfert de chaleur du compresseur à l'environnement est de 80 Btu/min . Déterminer:

- a) La puissance requise par le compresseur.
- b) Le débit massique de l'eau condensée.

Problème S-6

De l'air à 35°C , 1 bar et 10% d'humidité relative entre dans un système de refroidissement par évaporation. De l'eau liquide à 20°C est injectée et s'évapore complètement à l'intérieur du système. L'air humide à la sortie est à 25°C et 1 bar. Déterminer:

- a) Le taux d'injection du liquide, en kg par kg d'air sec.
- b) L'humidité relative à la sortie.