

Première partie

La qualité de l'air dans l'habitat

I. Le renouvellement de l'airA. Bilan énergétique pour un fluide

1)

 S^* = fluide dans le volume de contrôle $+ \delta m_1$
à t $M_{S^*}(t)$ = masse de S^* à t
 $= \Pi_S(t) + \delta m_1$ avec $M_S(t)$ = masse du fluide dans le volume de contrôle à t A $t + dt$

$$\Pi_{S^*}(t+dt) = M_S(t+dt) + \delta m_2$$

 S^* étant fermé $M_{S^*}(t+dt) = M_{S^*}(t)$

On en déduit

$$M_S(t) + \delta m_1 = M_S(t+dt) + \delta m_2$$

L'écoulement étant stationnaire : $M_S(t+dt) = M_S(t)$
et S étant immobile

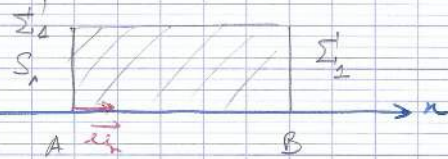
$$\text{Soit } \underline{\delta m_1 = \delta m_2}$$

Par définition du débit massique

$$\boxed{D_m = \frac{\delta m_1}{dt} = \frac{\delta m_2}{dt}}$$

2) Soit w_p le travail des forces pressantes s'exerçant sur S^* Il s'exerce $P_1 S_1 \vec{e}_x$ sur la section Σ_1'

qui évolue jusqu'à Σ'_2 pendant dt



Ce qui correspond à 1 travail

$$W_1 = P_1 S_1 AB$$

$$= P_1 \cdot V_1$$

↑ volume de δm_1

avec $\delta m_1 = \rho_1 V_1$

$$W_1 = P_1 \frac{\delta m_1}{\rho_1}$$

De même pour Σ'_2 $\vec{F}_2 = -P_2 S_2 \vec{u}_x$

$$W_2 = -P_2 \frac{\delta m_2}{\rho_2}$$

On obtient

$$W_p = \frac{W_1 + W_2}{\delta m} = \frac{P_1}{\rho_1} - \frac{P_2}{\rho_2}$$

3) dU = variation d'énergie interne de S^* entre t et $t+dt$

$$dU = U_S(t+dt) + \delta m_2 e_{e_2} - U_S(t) - \delta m_1 e_{e_1}$$

En régime stationnaire $U_S(t+dt) = U_S(t)$

or $\delta m_1 = \delta m_2 = D_m dt$

D'où $dU = D_m (u_2 - u_1) dt$

De même $dE_c = D_m (e_{e_2} - e_{e_1}) dt$

or $dE_p = D_m (e_{p_2} - e_{p_1}) dt$

4) D'après le 1^{er} principe appliqué à S^* entre t et $t+dt$:

$$dU + dE_c = \delta W + \delta Q$$

avec $\delta W = \delta W_p + \delta W_{Fc} + \delta W_{ex}$

↑ travail des faces pressantes
↑ travail des faces conservatives
↑ travail des faces non conservatives

On a $\delta W_p = \frac{P_1}{\rho_1} - \frac{P_2}{\rho_2}$

$$\delta W_{Fc} = -dE_p = -D_m dt (e_{p_2} - e_{p_1})$$

$$\delta W_{ex} = P_a dt$$

et $\delta Q = P_{th} dt$

Soit

$$D_m (u_2 - u_1 + \frac{P_2}{\rho_2} - \frac{P_1}{\rho_1} + e_{e_2} - e_{e_1} + e_{p_2} - e_{p_1}) = P_a + P_{th}$$

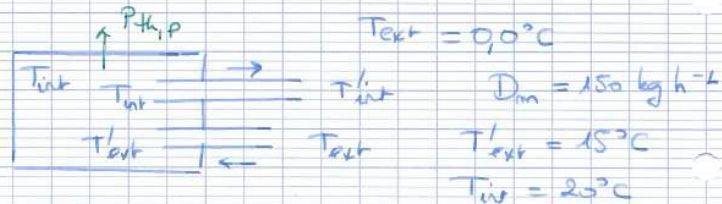
Par définition $H_i = U_i + p_i V_i$

$$\text{soit } h_i = e_i + \frac{V_i}{\rho_i} p_i = e_i + \frac{p_i}{\rho_i}$$

On a bien

$$D_m [(h_2 + e_{c2} + e_{p2}) - (h_1 + e_{c1} + e_{p1})] = P_u + P_{th}$$

B. Etude d'une ventilation mécanique



5. Relation de Mayer $C_p - C_v = nR$
 or $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ soit $C_v = \frac{C_p}{\gamma}$

Il vient $C_p \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) = nR$

$$C_p = n \frac{\gamma R}{\gamma - 1}$$

$$C_p = \frac{n}{m} \frac{\gamma R}{\gamma - 1}$$

$$C_p = \frac{\gamma R}{M(\gamma - 1)}$$

AN: $C_p = 1,0 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

6. $\gamma = \text{air neuf}$
 $D_m (h'_2 - h_{ext} + e_{c2} - e_{c1} + e_{p2} - e_{p1}) = P_u + P_{th}$
 négligeable

avec $P_u = 0$
 $h'_2 - h_{ext} = c_p (T'_2 - T_{ext})$

et pour $\gamma = \text{air vicié}$
 $D_m c_p (T'_1 - T_{int}) = -P_{th}$
 ↑ car par l'air vicié de la part de l'air neuf

D'où $T_{int} - T'_1 = T'_2 - T_{ext}$

AN $T'_1 = 5^\circ \text{C}$

7. $P_{th,a} = D_m c_p (T_{int} - T'_{ext})$
 $P_{th,a} = 208 \text{ W}$ $\uparrow D_m \text{ en kg h}^{-1}$

8. Pour maintenir une température constante il faut compenser les pertes et le renouvellement d'air

$$P_c = P_{th,p} + P_{th,a}$$

AN $P_c = 5,2 \text{ kW}$

9. Dans le cas d'une VMC simple flux

$$P_{th,a} = D_m c_p (T_{int} - T_{ext})$$

$$P_{th,a} = 333 \text{ W}$$

$$P'_c = P_{th,p} + P'_{th,a}$$

$$P'_c = 5,8 \text{ kW}$$

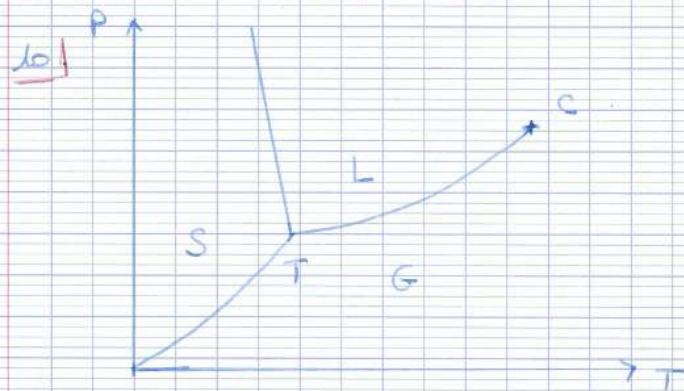
Economie : 10,11 %

Dans le cas d'un échangeur parfait $P'_{th,a} = 0$

Economie' = 14 %

II. Humidité de l'air dans l'habitat

A. L'air humide



T = point triple

les 3 phases liquide - gaz - solide coexistent à l'équilibre

C = point critique = limite de la courbe d'équilibre liquide-gaz

11) On a $P_0 = P_e + P_{a0}$ (loi de Dalton)

$$\text{avec } P_e = \varphi P_{e,\text{sat}}(T) = 1,3 \cdot 10^3 \text{ Pa} \ll P_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

D'après la loi des gaz parfaits

$$P_e V = n_e RT \quad \text{avec } n_e = \frac{m_e}{M_e}$$

$$m_e = \frac{M_e P_e V}{RT}$$

$$\text{AN: } m_e = 46,8 \text{ g}$$

$$\text{De même } m_{a0} = \frac{P_{a0} (P_0 - P_e) V}{RT}$$

$$m_{a0} = 59,6 \text{ kg}$$

$$\text{On a } \phi = \frac{m_e}{m_{a0}}$$

$$\phi = 7,3 \cdot 10^{-3}$$

12) Pour atteindre un degré hygrométrique de 100% il faut une masse d'eau m'_e avec

$$m'_e = \frac{M_e P_{e,\text{sat}} V}{RT} \quad \text{soit } m'_e = 852 \text{ g}$$

Le volume d'eau à évaporer est

$$V_e = \frac{m'_e - m_e}{\rho_e} \quad V_e = 3,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 0,33 \text{ L}$$

13) Soit m la masse d'eau dans la cuisine Entre t et $t + dt$

$$m(t + dt) = m(t) + S dt + D_{\text{air}}^V C_{\text{sat}} - D_{\text{m}} C(t) dt$$

avec $m(t+dt) = C(t+dt)V$
 $m(t) = C(t)V$

Il vient $V \frac{dC}{dt} + D_v C = D_v C_{ext} + S$

A la limite $C_{lim} = C_{ext} + \frac{S}{D_v}$

$\Leftrightarrow C_{lim} - C_{ext} = \frac{S}{D_v}$

$D_{v,m} = \frac{S}{C_{lim} - C_{ext}}$

14. AN $D_{v,m} = 100 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$

⚠ Il est donné 1 débit massique !

Pour l'air $n = 29 \text{ g/mol}$ soit $\rho = \frac{Pn}{RT}$

$\rho \approx 1,2 \text{ kg m}^{-3}$

$D_{v,m}$ correspond à un débit massique $D_{m,m}$

$D_{m,m} = \rho D_{v,m}$ AN $D_{m,m} = 120 \text{ kg m}^{-3}$

Bon acte de grandeur

Deuxième partie

Étude d'un climatiseur

(35-40)

Étude d'un climatiseurI - Transferts thermiques

- 1] D'après le 1^{er} principe, sur 1 cycle, pour le système climatiseur

$$\Delta U = W + Q$$

U étant une fonction d'état $\Delta U = 0$
soit $W + Q = 0$

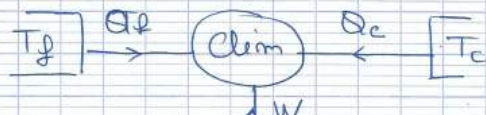
D'après le 2nd principe $\Delta S = \frac{Q}{T} + S_{\text{cré}}$

S étant une fonction d'état $\Delta S = 0$
soit $\frac{Q}{T} + S_{\text{cré}} = 0$

2] $S_{\text{cré}} > 0 \Rightarrow Q < 0$

avec $W + Q = 0 \Rightarrow W > 0$

- 3] Il est impossible de concevoir un climatiseur cyclique monotherme.

II Efficacité d'un cycle réversible

- 4] Bilan énergétique sur 1 cycle :
 $W + Q_c + Q_f = 0$

Bilan entropique : $\frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} \leq 0$

- 5] Climatiseur : $Q_f > 0$

6] $Q_f \Rightarrow Q_c < 0$ car $\frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} \leq 0$
 $\underbrace{\frac{Q_f}{T_f}}_{>0}$

D'autre part $W = -Q_c - Q_f$
 $\geq -Q_f \left(-\frac{T_c}{T_f} + 1 \right)$
 $\geq \underbrace{Q_f}_{>0} \underbrace{\frac{T_c - T_f}{T_f}}_{>0}$

Donc $W > 0$

- 7] Par définition l'efficacité $e = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie consommée}}$

Ici $e = \frac{Q_f}{W}$ avec $W = -Q_c - Q_f$
or $\frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} = 0$ réversible

Il vient $e = \frac{Q_f}{-Q_c - Q_f} = \frac{1}{-1 - \frac{Q_c}{Q_f}}$

or $\frac{Q_c}{T_c} = -\frac{Q_f}{T_f}$ soit $-\frac{Q_c}{Q_f} = +\frac{T_c}{T_f}$
 $e = \frac{T_f}{T_c - T_f}$

8) On a $e = \frac{T_f}{T_c - T_f}$ donc plus l'écart de température est important, moins bonne est l'efficacité!

III - Machine réelle

9) Etat A $T_1 = 16^\circ\text{C}$ Vapeur sèche
 $P_1 = 4,0 \text{ bar}$
 $h_A = 380 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

10) Adiabatique réversible = isentropique: $s_B = s_A$
 Etat B $P_B = 20 \text{ bar}$
 $T_B = 70^\circ\text{C}$
 $h_B = 420 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

11) D'après le 1^{er} principe énergétique pour le compresseur (on est bien en régime permanent)

$$\left[h + \underbrace{e_c + e_p}_{\substack{\text{variations} \\ \text{négligeables}}} \right]_A = \underbrace{w_c + q}_{\substack{0 \\ \text{car adiabatique}}}$$

Soit $w_u = h_B - h_A$ AN: $w_u = 40 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

12) Etat C : $P_C = 20 \text{ bar}$ (isobare)
 $T_C = 43^\circ\text{C}$ sur la courbe d'ébullition
 $h_C = 270 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

13) adiabatique $q = 0$
 pas de pièces mobiles $w_{u, c \rightarrow D} = 0$

D'après le 1^{er} principe énergétique $h_D = h_C$
 détente isenthalpique

14) Etat D $P_D = P_1$
 $T_D = -12^\circ\text{C}$
 $x_D = 0,48$

15) Entre D et A $h_A - h_D = w_{u, A \rightarrow D} + q_f$
 $q_f = h_A - h_C$ $q_f = +110 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
 $q_f > 0$

16) Par définition $e = \frac{q_f}{w_u}$
 $e = \frac{110}{40}$ $e = 2,8$

17) Pour 1 climatiseur réversible

$$e_c = \frac{T_f}{T_c - T_f} \quad e = \frac{261}{42 + 12}$$

$$e = 4,8$$

Ce climatiseur fonctionne de manière réversible