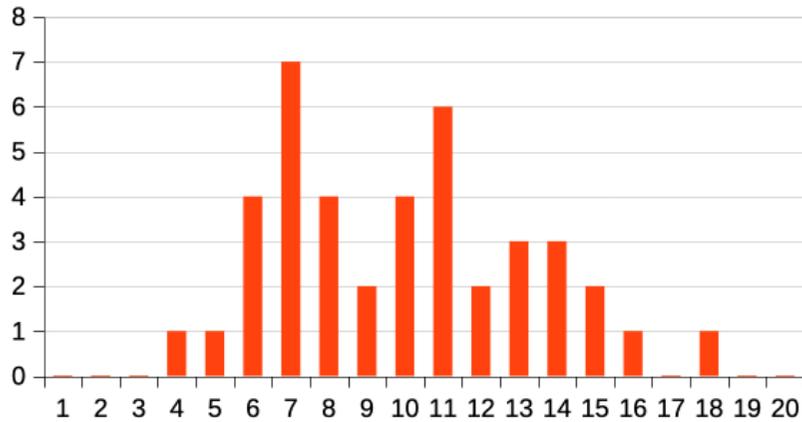


Meilleure note : 18,0

Moyenne : 10,3

Écart-type : 3,3

Devoir n°1  
Répartition des notes



## Première partie

# La qualité de l'air dans l'habitat

### I. Le renouvellement de l'air

#### A. 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  $t$   
 $= \rho_S(t) + \delta m_1$  avec  $M_S(t)$  = masse du fluide dans le volume de contrôle à  $t$

À  $t + dt$

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

$S^*$  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

Soit  $\delta m_1 = \delta m_2$

Par définition du débit massique

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

2) Soit  $w_p$  le travail des forces pressantes s'exercent sur  $S^*$   
Il s'exerce  $P_1 S_1 \vec{e}_x$  sur la section  $\Sigma_1'$

qui évolue jusqu'à  $\Sigma'_2$  pendant  $dt$



Ce qui correspond à 1 travail

$$W_1 = P_1 S_1 AB$$

$$= P_1 \cdot V_1$$

↑ volume de  $\delta m_1$

$$\text{avec } \delta m_1 = \rho_1 V_1$$

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

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

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

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  $t+dt$

$$dU = U_S(t+dt) + \delta m_2 e_{i2} - U_S(t) - \delta m_1 e_{i1}$$

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

$$\text{or } \delta m_1 = \delta m_2 = D_m dt$$

$$\text{D'où } dU = D_m (e_{i2} - e_{i1}) dt$$

$$\text{De même } dE_c = D_m (e_{c2} - e_{c1}) dt$$

$$\text{or } dE_p = D_m (e_{p2} - e_{p1}) dt$$

4) D'après le 1<sup>er</sup> principe appliqué à  $S^*$  entre  $t$  et  $t+dt$ :

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

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

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

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

$$\delta W_{Fc} = -dE_p = -D_m dt (e_{p2} - e_{p1})$$

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

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

Soit

$$D_m (e_{i2} - e_{i1} + \frac{P_2}{\rho_2} - \frac{P_1}{\rho_1} + e_{c2} - e_{c1} + e_{p2} - e_{p1}) = P_a + P_{th}$$

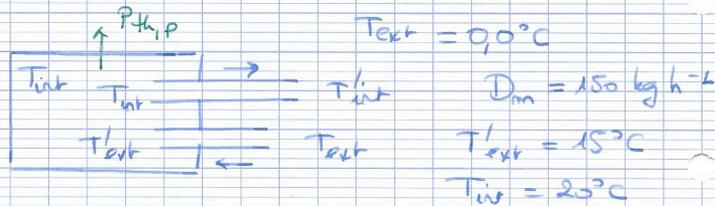
Par définition  $h_i = U_i + p_i V_i$

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

On a bien

$$D_m [(h_2 + e_{r2} + e_{p2}) - (h_1 + e_{r1} + e_{p1})] = P_u + P_{th}$$

B. Etude d'une ventilation mécanique



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

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

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

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

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

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

6)  $\rho = \text{air neuf}$   
 $D_m (h'_{ext} - h_{ext} + e_{r2} - e_{r1} + e_{p2} - e_{p1}) = P_u + P_{th}$   
 (Note:  $e_{r2} - e_{r1} + e_{p2} - e_{p1}$  is underlined and labeled as négligeable)

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

et pour  $\rho = \text{air vicié}$   
 $D_m c_p (T'_{int} - T_{int}) = - P_{th}$

↑ pour par l'air vicié de la part de l'air neuf

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

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

7)  $P_{th,a} = D_m c_p (T_{int} - T'_{ext})$

$P_{th,a} = 208 \text{ W}$  (Note:  $D_m$  en  $\text{kg h}^{-1}$ )

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

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

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

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

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

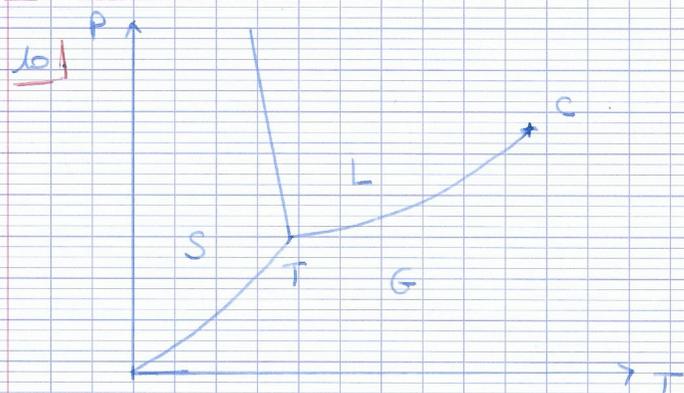
Economie : 10,11%

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  $P_0 = P_e + P_{\text{vap}}$  (loi de Dalton)

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

D'après la loi des gaz parfaits

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

$$m_e = \frac{M_e P_e V}{RT} \quad \text{AN: } m_e = 468 \text{ g}$$

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

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

$$\text{On a } \Phi = \frac{m_e}{m_{\text{eau}}} \quad \Phi = 7,8 \cdot 10^{-3}$$

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

$$V_e = \frac{m'_e - m_e}{\rho_e} \quad V_e = 3,83 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 = 0,38 \text{ L}$$

13) Soit  $m$  la masse d'eau dans le récipient entre  $t$  et  $t+dt$

$$m(t+dt) = m(t) + S_{\text{ext}} dt + D_{\text{O}_2}^{\text{v}} C_{\text{ext}} - D_{\text{H}_2\text{O}} C(t) dt$$

$$\text{avec } m(t+dt) = c(t+dt)V$$

$$m(t) = c(t)V$$

$$\text{Il vient } \boxed{V \frac{dc}{dt} + D_{v,m} c = D_{v,m} c_{ext} + S}$$

$$\text{A la limite } c_{lim} = c_{ext} + \frac{S}{D_{v,m}}$$

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

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

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

⚠ Il est donné 1 débit molaire !

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

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

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

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

Bon adieu de grandeur

Deuxième partie

Étude d'un climatiseur

(35-40)

Étude d'un climatiseur

I - Transferts thermiques



1] D'après le 1<sup>er</sup> 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 2<sup>nd</sup> principe  $\Delta S = \frac{Q}{T} + S_{aé}$

S étant une fonction d'état  $\Delta S = 0$

soit  $\frac{Q}{T} + S_{aé} = 0$

2]  $S_{aé} > 0 \Rightarrow Q < 0$

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

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  $T_1 = 10^\circ\text{C}$  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  $P_B = 2 \text{ bar}$   
 $T_B = 70^\circ\text{C}$   
 $h_B = 420 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

11) D'après le 1<sup>er</sup> principe énergétique pour le compresseur (on est bien en régime permanent)

$$\left[ h + e_c + e_p \right]_A = w_c + q$$

variations négligeables      0 car adiabatique

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

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  $w_{c \rightarrow D} = 0$

D'après le 1<sup>er</sup> 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) Entree D et A  $h_A - h_D = w_u + q_f$   
 $\begin{matrix} \text{A-D} \\ \parallel \\ 0 \end{matrix}$

$$q_f = h_A - h_C \quad q_f = +110 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$q_f > 0$$

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

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