Transfert de vapeur d'eau

$\varepsilon = P_v / P_{vs}$

Loi Fick : $\boxed{m_v = -\pi \frac{dP_v}{dx}}$

m_v : densité surfacique de masse de vapeur mise en mvt

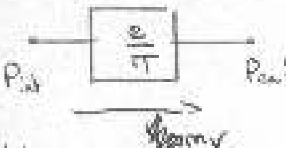
π perméabilité au matériau

dP_v : différence pression de vapeur

m_v en $kg.m^{-2}s^{-1}$

Hyp paroi homogène :

$m_v = \frac{\pi}{e}(P_{v\,int} - P_{v\,ext})$



Multicouche :

$\boxed{m_v = \frac{P_{int} - P_{ext}}{\sum e/\pi_i}}$

1- Calcul de m_v + φ

2- Calcul de P_v à l'interface

3- P_v varie linéairement au sein d'un matériau

4- Comparaison des P_v au P_{vs}

Si $P_v > P_{vs}$ → condensat°

Rq : Flux conservatif

φ_{total} permet de calculer tous les morceaux.

$T_{ext} + \varphi h = T_{int} \rightarrow T°$

1 kWh = 2,58 kW hep

$\varphi = T_{int} - T_{ext} / R_T$

Qualité de l'air

Pb qualité ↓ (aldéhydes, cov) radon, O_3

particule fine PM2,5 : particule < 2,5 μm

- amiante fibre naturelle utilisée isolat° thermik...

Nanoparticule → maladie neurophysiologik

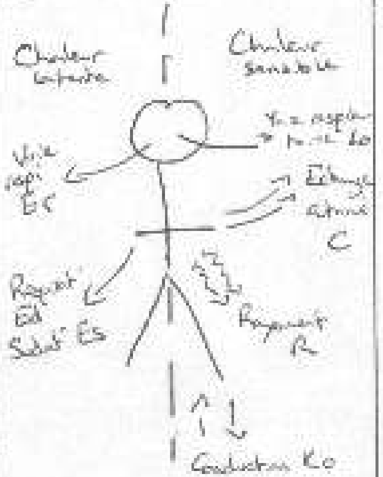
VMS circulat° air frais simple/double flux

Confort thermique

Paramètre :

environnement :
- T° sèche
- Humidité relative
- T° rayonnement
- Vitesse air

Individu :
- Activité
- Habillement



Bilan

$H - E_d - E_s - E_r - C_o - K_o - R + C = 0$

Caractérisation product° chaleur

Modèle de Fanger

$M = H + W$

M : produite par le corps ; H : chaleur interne ; W : travail

$H = M(1-\eta)$ $\eta = \frac{W}{H}$ (rendement travail)

A : surface de peau

$\frac{H}{A} = \frac{M}{A}(1-\eta)$

Formule dubois

$A = 0,202 (m)^{0,425} \times h^{0,725}$

Unité : met = 58 $W.m^{-2}$

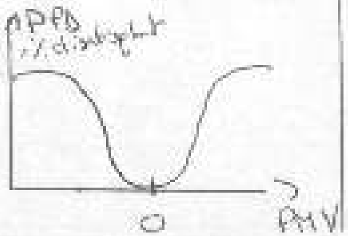
Caractérisation de la vêture

R_{clo} en $m^2.C°.W^{-1}$ ou en clo = 0,155 $W.m^{-2}.C$

↳ Courbe de confort thermique

Approche psycho physique :

Echelle : +3 = très chaud ; -3 = très froid



$C_{res} = V_p C_p (T_{ext} - T_a)$

C_{res} : respirat° convect ; V_p : débit pulmonaire ; C_p : chaleur massique air

$C_{res} = 0,0014 M (T_{ext} - T_a)$; M : product° chaleur métabolique

$T_{ext} = 32,5 + 0,066 T_a + 1,98 \cdot 10^{-4} P_a$

P_{vs} : Pression vapeur saturante à $T = T_a$

$E_{res} = 1,73 \times 10^{-5} M (5867 - P_a)$; éch respiratoire

$C = h_c (T_{cl} - T_a) f_{cl}$; C : éch convect ; h_c : coef éch convect ; T_{cl} : T° vêtement ; f_{cl} : surface éch

$h_c = 2,38 (T_{cl} - T_a)^{0,25}$ $= 12,1 \sqrt{V_a}$ (convect° forcée $V_a < 2,6$ m/s)

$R = h_r (T_{cl} - T_{rm})$; éch rayonnement ; coef ; T° radiante moyenne

$E_{sp} = h_e (P_{sk} - P_a)$; éch évaporat ; coef ; P partielle vp à la peau

$h_e = h_c \cdot 16,7 \times 10^{-3}$

$E_{max} = h_e (P_{vsk} - P_a)$

Confort :

$S = Q_{produit} - Q_{perdu}$

Projet

$\frac{1}{U} = R_i + R_e + \sum \frac{e_i}{\lambda_i}$

$R_i = 1/h_i$ | λ_i | e_i | $R_e = 1/h_e$

$\boxed{U_{bat} = \frac{H_T}{A_T}}$ ($W.m^{-2}.C^{-1}$) ; A_T : somme des surfaces de l'enveloppe

$H_T = \sum_{parois} b_i U_i A_i$ surf $+ \sum b_i \psi_j L_j$ linéik ; b_i : coef réduct T° ; ψ : coef déperdition ; L : longueur (m)

Perte linéique = 20% perte surfacique

$b_i = t_i - t_g / t_i - t_e$

$U_{bat} < 1.2\ U_{bat\,ref}$

Apport solaire

$Q_s = \sum A \times S \times I$

Perte par renouvellement

$H_v = 0,34 Q_v$

Perte total

$H = H_T + H_v$

Perte

$Q_l = H(\theta_i - \theta_e) \times \frac{24 n_j}{1000}$

Gain interne

$Q_i = 4 A_{habitable} \times \frac{24 n_j}{1000}$

Gain solaire

$Q_s = [\sum A \times S \times F \times I] \times \frac{24 n_j}{1000}$

Gain total

$Q_g = Q_s + Q_i$

$\eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}}$; $a = 1 + \frac{\tau}{16}$

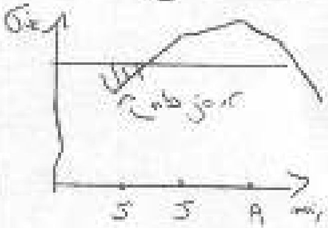
$C_m = \frac{230}{3,6} \times A_{bat}$

$\tau = C_m / H$

Température eq

$\theta_{isc} = \frac{Q_g \times 1000}{H \times 24 \times n_{jour}}$

Nombre jour chauffe



Besoin chauffage

$Q_h = (Q_l - \eta Q_g) \times \frac{n_{j\,chauf}}{n_{j\,mois}}$

$Q_{h\,an} = \sum_{mois} Q_{h\,mois}$

Energie consommé : $\frac{Q_{h\,an}}{rendement}$

$R_T = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} + \sum e/\lambda_i$

$R_v = \sum e_i / \pi_i$

$\varphi = T_{int} - T_{ext} / R_T$ (1/h)

INTRODUCTION

↗ conso NRJ
dépend PIB jusqu'à 1ère crise éco en 1974
Depuis 1980 croissance utilisé ...
+ bb depuis 30 + tension prix 2004
Bâtiment : 45% conso NRJ + 25% GES
Couplage structure-enveloppe ... systèmes thermiques
Corbusier 1933 qualité air
1770-1830 : ↗ science thermique / ... 1824
↗ thermo
1982 : créat° COMES
juin 92 Rio de Janeiro ↗ thermo
Calcul conf. le 1974 → ... global
GES impose 2005
Plan Climat juillet 04 → environnement
+ complété grenelle oct 07
... grenelle 1 2008
... 2 2009
+ recherche 2006 sur NRJ/Bat/Transport

NRJ = 10% prix ménage
crise : 35 M€ = 4% PIB en 2003 ; ≠ 1% en 30

NRJ primaire = sans transformat°
disponible = pr consommateur

Unité

$(T_0 = -273{,}15\ K)$

$1\ kWh = 3{,}6\ MJ$
$1\ th = 10^6\ cal = 1{,}13\ kWh$
$1\ W = 1\ J.s^{-1}$ $\quad 1\ Btu = 1{,}055\ kJ$
$1\ tep = 11626\ kWh$

Carnot $\eta = 1 - \frac{T_f}{T_c}$ $\quad A = Q\left(1 - \frac{T_f}{T_c}\right)$

Grandeur NRJ

Flux : $\Phi_\lambda\ (W.m^{-1})$ / $\Phi = \int \Phi_\lambda d\lambda$

Emittance (source) $= d\Phi_\lambda / dA_S = M_\lambda\ (W.m^{-3})$

Eclairement (récepteur) $E_\lambda = d\Phi_\lambda / dA_r\ (W.m^{-2})$ lux

Intensité $d\Phi / d\Omega_S = I\ (W.sr^{-1})$ cd

Luminance $L_{S\to r} = d\Phi_{Sr} / d\Omega_S$ $(W.sr^{-1}.m^{-2})$

Flux quittant $A_S \to A_r$:
$d^2\Phi_{S\to r} = L_{Sr} \times d^2G$

Angle Solide

$$d\Omega_S = \frac{dA_r \cos\theta_r}{d^2} \text{ (steradian)}$$

(Surface épinée : rayon l comptant sur cône s'appuie sur contour dAr)

$\Omega_S \in [0; 4\pi]$ pr surface $\Omega \in [0; 2\pi]$

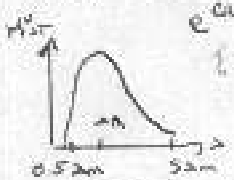
Etendue géométrique

$$d^2G = \frac{dA_r \cos\theta_r \, dA_S \cos\theta_S}{d^2}$$

Rq
Si $I_{P\vec{x}} = cst\ \forall (P, \vec{x})$ = isotrope

Loi de Planck

$$M^o_{\lambda T} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{C_2/\lambda T} - 1} \quad (W.m^{-3})$$



Rq simplificat°
si $\lambda \ll$: WIEN
$\lambda \gg$: RAYLEIGH

$C_1 = 3{,}74 \times 10^{-16}$ $\quad C_2 = 1{,}44 \times 10^{-2}$

Loi Wien

$\lambda_m T = 2896\ \mu m.K$
$(M^o_{\lambda T})_{max} = B T^5$
$B = 1{,}2761 \times 10^{-5}\ W.m^{-2}.\mu m^{-1}.K^{-5}$

Loi de Boltzman

$M^o_T = \int M^o_\lambda d\lambda = \sigma_0 T^4$
$\sigma_0 = 5{,}67 \times 10^{-8}\ W.m^{-2}.K^{-4}$

Corps réel $M_{\lambda T} = \varepsilon_\lambda M^o_{\lambda T}$ $\quad \varepsilon \in [0;1]$
métaux $\varepsilon \approx 0{,}1$
verre/mat/peinture $\varepsilon \approx 1$
ε_λ = émissivité monochromatique thermique

Surface grise $\varepsilon_\lambda = cst\ \forall \lambda$
noir $\varepsilon = 1$

$$\boxed{M^o_{\lambda T} = \sigma_0 T^4}$$

Loi de Kirchhoff

Corps en éq th avec corps noir
$\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda$

Coef naturel

$\rho_\lambda = d\Phi_{\lambda r} / d\Phi_{\lambda i}$ réflectivité
$\alpha_\lambda = d\Phi_{\lambda a} / d\Phi_{\lambda i}$ absorptivité
$\tau_\lambda = d\Phi_{\lambda t} / d\Phi_{\lambda i}$ transmittivité

$\alpha + \rho + \tau = 1$

Surface noire Lambert
$\varepsilon = \alpha = 1$ $\quad M = \pi L = d\Phi / S$

$d\Phi_{12} = L_1 d^2G = \frac{\Phi_1}{\pi S_1} \iint \frac{dS_1 \cos\theta_1 \ldots}{d^2}$ $\quad F_{12}$ facteur forme

$$\boxed{\Phi_{12} = F_{12} \Phi_1}$$

et $F_{12} S_1 = F_{21} S_2$ $\quad F_{21} = \ldots$

Flux échangé surface noire

$\Phi_{21} = F_{21} S_2 M^o_2$
$\Phi = S_2 F_{21} (M^o_1 - M^o_2)$
Flux net échangé entre 1 et 2
Cavité fermée
$\Phi = S_i \sum_j F_{ij} (M^o_i - M^o_j)$
Le flux échangé entre S_i et les autres

Analogie électrique

$M^o_1 \xrightarrow{\Phi} \boxed{1/S_1F_{12}} \longrightarrow M^o_2$ $\quad$ Surface noire

Radiosité $J = \varepsilon M^o + \rho E$

Flux net surface grise
$\Phi_{net} = \Phi_{emis} - \Phi_{abs}$
$= \varepsilon M^o - \alpha E$
$= J - E$
$= (M^o - J) / S\varepsilon(1 - \varepsilon)$

Facteur de forme

$$F_{12} = \iint_{S_1 S_2} \frac{\cos\theta_1 \cos\theta_2}{S_1 \pi d^2} dS_2 dS_1$$

Surface grise

$\boxed{1-\varepsilon/\varepsilon S} \xrightarrow{J} \boxed{1/S_1F_{12}}$ ... S_2
Φ_{net} $\quad J_1$

$\Phi_{ech\ S_1 \to S_2} = (M^o_1 - M^o_2) S_1 \mathcal{F}_{12}$

$$\mathcal{F}_{12} = \frac{1}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{F_{12}} + \frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2}\frac{S_1}{S_2}}$$

Eq aux radiosité

Surface S_i + cavité fermée
$J_i = \varepsilon_i M^o_i + \rho_i E_i$

$$\sum_{j=1}^{n} \left(\delta_{ij} - (1-\varepsilon_i) F_{ij}\right) J_j = \varepsilon_i M^o_i$$

$\Phi_{net} = \frac{\varepsilon_i}{1-\varepsilon_i} (\sigma_0 T^4 - J_i)$

Convection

Newton $\Phi = hS(T_S - T_f)$

$T_S \xrightarrow{\Phi} \boxed{1/hS} \longrightarrow T_f$

$Nu = \frac{hx}{\lambda}$ ~ de convection (Lambert) ; λ_f = conductivité fluide

$Re = \frac{vx}{\nu}$ Reynolds ; ν viscosité ; Seuil $= 10^5$

$Pr = \frac{\mu C}{\lambda} = \frac{\nu}{a}$ ~ diffusivité
Prandtl

$Nu = C\ Re^n\ Pr^m$

Couche limite

Surface

dérivée
cylindrique $dr \vec{e_r} + r d\theta \vec{e_\theta} + dz \vec{e_z}$
sphérique $dr \vec{e_r} + r d\theta \vec{e_\theta} + r \sin\theta d\varphi \vec{e_\varphi}$

cylindre $2\pi r H$
ellipse πab
sphère $4\pi r^2$

Suite convection

$\frac{\partial T}{\partial t} = a \Delta T$ (milieu solide)

$\frac{\partial T}{\partial t} + (\vec{v}.\vec{grad}) T = a \Delta T$ (fluide)

$Pr = \frac{\nu}{a}$ = qté de mouvement / chaleur + qté de mvt

Grashoff
$Gr = g \beta \delta T \Delta^3 / \nu^2$

Rayleigh $\quad Ra = Gr Pr$

Calcul à $T^* = T_{moy} \frac{T_S + T_f}{2}$

Régime laminaire / turbulent

Newton $\Phi = hS(T_S - T_f)$
$dQ = \frac{\Phi}{S} dS dt$

Conduction

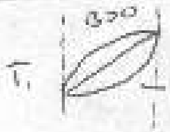
Equat° chaleur :

$$\boxed{\lambda \Delta T + \vec{grad}\lambda . \vec{grad} T + P}$$
$= \rho c\, \partial T / \partial t$

a : diffusibilité thermique
$a = \frac{\lambda}{\rho c}$ $\quad (m^2.s^{-1})$

$a \Delta T = \frac{\partial T}{\partial t}$ $\quad \left(si\ \lambda = cst,\ P = 0\right)$

Si $\lambda = \lambda_0 (1 + BT)$



Formule grad, Δ

$\Delta T = div(\vec{grad}(T))$

Si $\lambda = f(T)$
$\vec{grad}\lambda = \frac{d\lambda}{dT} \vec{grad} T$

Analogie électrique

$T_1 \xrightarrow{\Phi} \boxed{e/\lambda S} \longrightarrow T_2$