Coord. orthonormée

$\vec{grad} = \begin{vmatrix} \partial/\partial x \\ \partial/\partial y \\ \partial/\partial z \end{vmatrix}$ $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$

Cylindrique

$\vec{grad}\, v = \begin{pmatrix} \frac{\partial v_r}{\partial r} \\ \frac{1}{r}\frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} \\ \frac{\partial v_z}{\partial z} \end{pmatrix}$

$\Delta v = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial v}{\partial r}\right) + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 v}{\partial \theta^2}$

Sphérique

$\vec{grad}\, v = \begin{pmatrix} \frac{\partial v_r}{\partial r} \\ \frac{1}{r}\frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} \\ \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} \end{pmatrix}$

$\Delta v = \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial v}{\partial r}\right) + \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial}{\partial \theta}\left(\frac{\sin\theta}{r}\frac{\partial v}{\partial \theta}\right) + \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial}{\partial \varphi}\left(\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial v}{\partial \varphi}\right)$

Convection (fluide).

Eq chaleur milieu solide

$\frac{\partial T}{\partial t} = a\,\Delta T$ (a : diffusivité)

Conservation de masse

$\mathrm{div}\, u = 0$

$Re = UD/\nu$

Conduction (autre direct)

$d^2Q = -\lambda\, \vec{grad}\, T \cdot \vec{n}\, S\, dt$

$d\Phi = \frac{d^2Q}{dt}$

Condit° aux limites

Dirichlet : T° imposée surface

Neumann : flux imposé à la surface

Nombre de Biot

$\boxed{Bi = \frac{hl}{\lambda}}$

Nombre de Fourier

$\boxed{Fo = at/l^2}$

Cylindre $r_1 < r_2$

- $p = 0$
- $\lambda = cst$
- permanent.

$\Delta T = \frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\frac{dT}{dr}\right)$

$\hookrightarrow T = \alpha \ln(r) + \beta$

$T = \frac{T_1 - T_2}{\ln(r_1/r_2)}\ln(r) + \frac{T_2\ln(r_1) - T_1\ln(r_2)}{\ln(r_1/r_2)}$

$T = T_1 - \frac{T_1 - T_2}{\ln(r_2/r_1)}\ln(r/r_1)$

$\Phi = 2\pi\lambda\frac{T_1 - T_2}{\ln(r_2/r_1)}$

Sphère

$T = T_1 + \frac{r_1 r_2 (T_1 - T_2)}{r_2 - r_1}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1}\right)$

$\Phi = 4\pi\lambda\frac{r_1 r_2 (T_1 - T_2)}{r_2 - r_1}$

Résistance thermique

$R_T = \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{\lambda_x S_x}$ (°C/W)

Conductance th

$K_T = 1/R_T$

$\boxed{R_T = \frac{T_1 - T_2}{\Phi}}$

$r_T = \frac{1}{\lambda}$ (par unité de surface)

$R_{T\,cylindre} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi\lambda}$

$R_{T\,sphère} = \frac{r_2 - r_1}{4\pi\lambda r_1 r_2}$

Méthode résolut° équa

→ séparat° variable

→ $T = f(x)g(t)$

→ Laplace :

$\bar{T} = \int_0^\infty e^{-pt} T(t)\, dt$

$\frac{d^2\bar{T}^*}{dx^2} - \frac{p}{a}\bar{T}^* = 0$

$T^* = T - T_0$

$\bar{T}^* = \bar{T} - \frac{T_0}{p}$

Transfert de masse

Air : 78% Azote
21% O_2
0,03% CO_2
1% autre.

$PV = nRT$ (Pa, m^3, mol, K) (pr 2 GP : air sec, air humide.)

Air sec

$M_{as} = 29\, g.mol^{-1}$

$R = 8{,}30\, J.mol^{-1}.K$

$\rho_{as} = \frac{P_{as}}{287T} = \frac{1}{v_{as}}$ (volume massique)

Chaleur massique = qté chaleur pr air sec T° ↗ 1°C à transfo isobare

$Q_{AB} = m_{as} C_{as} (T_B - T_A)$

$C_{as} = 1000 + 0{,}25T$ (°C)

C chaleur massique à Pcst

Enthalpie : qté chaleur totale

= 0 si air sec à 0°C

$H_{as} = m_{as} C_{as} T$ (°C)

Air humide

$P_v V = \frac{m_v}{M_v} RT$ (M_v = 18 g.mol⁻¹)

$v_v = \frac{462T}{P_v} = \frac{1}{\rho_v}$

Chaleur latente vaporisat°

solide → liquide à 0°C

= 2500 kJ/kg

Enthalpie

$H_v = m_v(l_v + C_p T)$

$= m_v(2500 + 1{,}83T)$ (°C)

Pression saturat° vp d'eau

→ pression partielle

$\rho = \frac{P}{287T} - 1{,}32\times10^{-3}\frac{P_v}{T}$

Humidité spécifique

$w = m_v/m_{as}$

$= 622\frac{P_v}{P - P_v}$

Volume spécifique

$\boxed{V_s = V/m_{as} = \frac{287T}{P - P_v}}$

Humidité relative

$\varepsilon = P_v/P_{vs}$ — vapeur saturante si mélange saturé en vapeur

Enthalpie spécifique

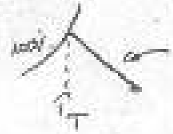
$q_{as} = C_{pa} t + w\, C_{pv} T + 2500\, w$

$q = m_{as} C_{pa}(T - 0) + m_v(2490 + 1{,}96(T - 0))$

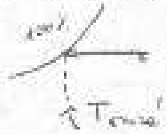
(1 kJ/kg) (chaleur latente vapo) (chaleur massique)

Diagramme de l'air humide

T° humide = T° d'un mélange de même enthalpie spécifique se trouvant à l'état de saturat° en vp



T° de rosée = T° d'un mélange de même humidité spécifique trouvant à l'état de saturat° en vapeur d'eau



T° sèche = T° du mélange

Diffusion de la vapeur d'eau

densité courant diffusion : $\boxed{g = \Pi\frac{P_{v1} - P_{v2}}{e}}$ (pression partielle (Pa)) (e : épaisseur (m))

Π/e = perméance de la paroi

Loi Fick : $g = -\Pi\, dP_v/dx$

Eq radiosité

$J_i = \varepsilon_i M_i^0 + (1 - \varepsilon_i)E_i \Rightarrow J_i = \varepsilon_i M_i^0 + (1 - \varepsilon_i)\sum_{j=1} F_{ij} J_j$

$E_i = \sum_{j=1} F_{ij} J_j$

T_i connu ⇒ $\sum_{j=1} [\delta_{ij} - (1 - \varepsilon_i)F_{ij}] J_j = \varepsilon_i \sigma_0 T_i^4$

Flux imposé $\sum_{j=1} [\delta_{ij} - F_{ij}] J_j$ = Flux net = φ_{net}

$\hookrightarrow \varphi_{net} = \frac{\varepsilon_i}{1 - \varepsilon_i}[\sigma T_i^4 - J_i]$