

$$Q = -m_1(h_{1s} - h_{1e}) = m_2(h_{2s} - h_{2e}) \quad (8) \quad \textcircled{5}$$

Finalement la puissance échangée s'écrit:

$$\underline{Q = m_1(h_{1e} - h_{1s}) = m_2(h_{2s} - h_{2e})} \quad (9)$$

- Sans changement d'état.

à pression constante $dh = c_p dT$

$$Q = -m_1 \int_{T_{1e}}^{T_{1s}} c_{p1} dT_1 = m_2 \int_{T_{2e}}^{T_{2s}} c_{p2} dT_2 \quad (10) \quad \begin{matrix} c_p: \text{chaleur massique} \\ [\text{J}/\text{kg}\cdot\text{C}] \end{matrix}$$

$c_{p1} \approx c_p$; $c_{p2} \approx c_p$, il vient:

$$\underline{Q = m_1 c_p (T_{1e} - T_{1s}) = m_2 c_p (T_{2s} - T_{2e})} \quad (11)$$

- Avec changement d'état.

Chaleur latente: $L = h_{\text{gaz}} - h_{\text{liquide}}$

$[\text{J}/\text{kg}]$

Si $h_{2s} - h_{2e} = L_2 \Rightarrow Q_2 = m_2 (h_{2s} - h_{2e}) = m_2 L_2$

— le fluide 2 change d'état,
le fluide 1 ne change pas d'état } $\Rightarrow Q = m_2 L_2 = m_1 c_p (T_{1e} - T_{1s})$. (12)

— les 2 fluides changent d'état } $\Rightarrow Q = m_1 L_1 = m_2 L_2$ (13)

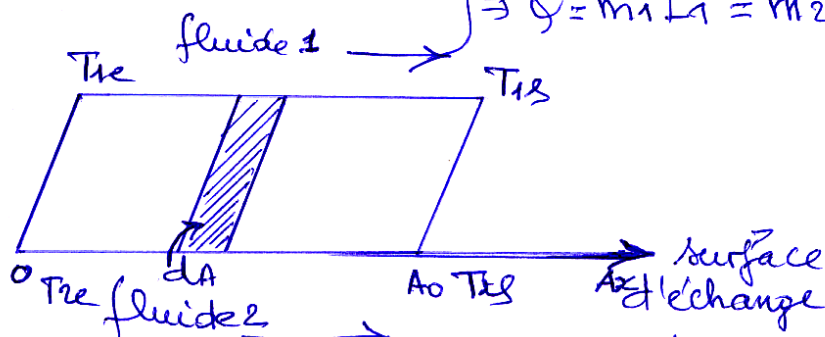


Figure 3: Echange thermique entre les 2 fluides.

1.6 Coefficient d'échange

(6)

Le coefficient d'échanges thermiques k_x entre le fluide chaud et le fluide froid à travers l'élément de surface dA est défini par :

$$d\Phi = k_x dA (T_1 - T_2) \quad (14)$$

La puissance totale échangée peut donc s'écrire :

$$\Phi = \int_0^{A_0} k_x dA (T_1 - T_2) \quad (15)$$

k_x : Coefficient d'échange local

A_0 : Aire de la paroi d'échange.

On suppose k_x indépendant de la position, le long de la surface d'échange A_0 , on prendra

$k_x = k$, coefficient d'échange moyen.

avec

$$\left. \begin{aligned} \Phi &= k \int_0^{A_0} dA (T_1 - T_2) \\ \Delta T_m &= \frac{1}{A_0} \int_0^{A_0} (T_1 - T_2) dA \end{aligned} \right\} \Phi = k A_0 \Delta T_m \quad (16)$$

on ΔT_m : Valeur moyenne de l'écart de température.

- si $l = \text{cte}$
 - Sens des écoulements parallèles à la surface d'échange, alors

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_0 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_0}{\Delta T_1}} = \Delta T_{ml} \quad (17)$$

où : ΔT_1 : écart de température lorsque $A = 0$

ΔT_0 : écart de température lorsque $A = A_0$

- si l n'est pas constant
 - le sens des écoulements est quelconque

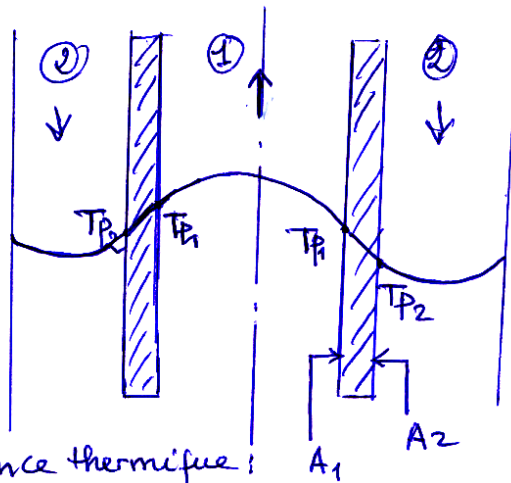
... / ...

$$\Delta T_m = F \cdot \frac{\Delta T_o - \Delta T_i}{\ln \frac{\Delta T_o}{\Delta T_i}}, \quad F = \text{facteur de correction} \quad (17)$$

$$\Delta T_m = F \cdot \Delta T_{ml} \quad (18) \quad \Delta T_{ml} = \text{moyenne logarithmique.}$$

1.7 Méthode de calcul de K

Soit un écoulement de fluides dans deux tubes concentriques. Le fluide chaud ① circule à l'intérieur, le fluide froid ② dans l'espace annulaire.



La résistance thermique :

$$R_{tot} = R_{s1} + R_p + R_{s2} \quad \Rightarrow \quad R_{tot} = \frac{1}{k A_o} \quad \left[\frac{^\circ C}{W} \right] \quad (19)$$

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{tot}} = \frac{\Delta T_m}{R_{tot}} = k A_o \Delta T_m$$

• Conduction dans une paroi plane

$$dq = -\lambda S \frac{dT}{dx}$$

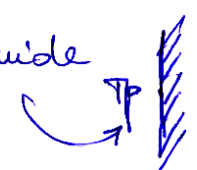
$$Q = -\frac{\lambda S}{e} (T_2 - T_1) = \frac{\Delta T}{R} \quad (21)$$

$$R = \frac{e}{\lambda S}$$

... / ...

• paroi cylindrique $R = \frac{1}{2\pi\lambda L} \cdot \ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)$ (22) (8)

• Coefficient d'échange superficiel, λ : ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
Convection

T_{fluide}  $Q = h \cdot S (T_p - T)$ $T_p > T$ (23)
 $Q = \frac{T_p - T}{R_s} \Rightarrow R_s = \frac{1}{hS}$

$R = \frac{1}{KA_0} = \frac{1}{h_1 A_1} + R_p + \frac{1}{h_2 A_2} + R_{e1} + R_{e2}$ (24)

où R_e : résistance d'encrassement.

si $A_0 = A_1$

$\frac{1}{KA_1} = \frac{1}{h_1 A_1} + R_p + \frac{1}{h_2 A_2} + R_{e1} + R_{e2}$

$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_1} + R_p \frac{A_1}{A_1} + \frac{1}{h_2 \frac{A_2}{A_1}} + R_{e1} \frac{A_1}{A_1} + R_{e2} \frac{A_1}{A_1}$ (25)

• Encrassement

- phénomènes physiques \rightarrow dépôt (sables, fumées...)
- chimique \rightarrow entartrage, corrosion...
- biologique \rightarrow eau de mer (micro-organismes)

Résistance thermique d'encrassement:

Ordres de grandeurs, $R_{e,A}$ ($A = 1 m^2$) ($\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$)

eau de mer : $1 \text{ à } 2 \cdot 10^{-4}$

eau de rivière : $10 \cdot 10^{-4}$

eau de chaudière : $2 \cdot 10^{-4}$

Vapeur : 10^{-4} (relativement propre)

... / ...