

Régimes permanents, Échangeurs

Résumé

Nous présentons la base de la théorie des échangeurs

1 Le coefficient de convection

Le problème est d'estimer le coefficient d'échange h .

2 Convection forcée interne

2.1 Equation de Navier Stokes

2.2 Nombres sans dimension

Reynold, Péclet, Nusselt.

2.3 Mouvement du fluide

Résolution du problème de Poiseuille.
frottement

$$\tau = \frac{16}{Re} \left(\frac{\rho u_m^2}{2} \right)$$

2.4 Equation de la chaleur Température imposée

2.5 Equation de la chaleur Flux imposé

solution analytique en x + profil....

2.6 Nusselt

$$Nu = 3.7 \text{ pour } \frac{x}{PeR} > 0.1$$

Convection Forcée interne

pour un tube de température uniforme de diamètre D en régime laminaire de vitesse U , nous allons voir dans la suite du cours où les notations seront définies :
en régime laminaire :

$h = Nu(k/L)$ avec $Nu = 3.66$ et $Pr = \nu/a$ et $R_L = UD/\nu$.

en régime turbulent formule de Colburn (ou Dittus Boelter) :

$h = Nu(k/L)$ avec $Nu = 0.023Pr^{1/3}R_L^{4/5}$ et $Pr = \nu/a$ et $R_L = UD/\nu$ (U vitesse moyenne).

Faire le tuyau à température extérieure fixe : échauffement

Faire le tuyau à flux constant

Faire le tuyau à flux constant entouré d'un tube

3 Exercice

4 Echangeurs

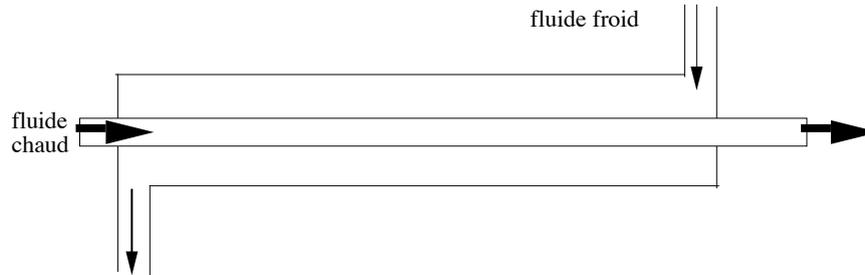


FIG. 1 – température

2.11. Échangeurs

Nous présentons ici, pour mémoire, l'utilisation des coefficients d'échange pour le calcul simplifié des échangeurs.

2.11.1 Dispositif

Un échangeur (*heat Exchanger*) est un dispositif qui permet "d'échanger de la chaleur" entre deux fluides que l'on ne veut pas mélanger et qui sont à températures différentes. On citera par exemple :

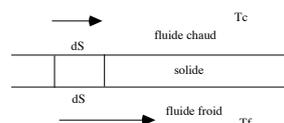
- la ventilation des bâtiments/ air conditionné...
- les radiateurs d'appartements et de moteurs de véhicules...
- l'alambic des bouilleurs de crus
- les échangeurs de chaleur (centrale nucléaire/ thermique)
- ...

2.11.2 Analyse

L'analyse est présentée ici pour mémoire et dans sa forme classique (on consultera la littérature pour plus de détails). La relation "fondamentale" de l'échangeur est fondée sur la conservation de l'enthalpie H d'un fluide en mouvement écrit de manière simplifiée par unité de surface :

$$\frac{dH}{dt} = h\Delta T,$$

de manière schématique, soit un fluide chaud (noté c) à la température T_c s'écoulant sur (autour...) une frontière solide qui le sépare d'un autre fluide noté f (plus froid).



soit G_c le débit massique pour le fluide c, (et $G_f...$), on a pour f puis pour c, dans le cas où $T_c > T_f$ et où G_f et $G_c > 0$ (échangeur "cocourant"), et comme le flux est conservé à travers la paroi (on écrit bien la surface d'échange dS) :

$$-G_c c_{pc} dT_c = h(T_c - T_f) dS \quad \text{et} \quad G_f c_{pf} dT_f = h(T_c - T_f) dS$$

(attention au signe T_c diminue et T_f augmente), puis par élimination :

$$d(T_c - T_f) / (T_c - T_f) = -kdS(1/G_c c_{pc} + 1/G_f c_{pf}).$$

qui s'intègre... On en déduit le flux total échangé en fonction des températures d'entrée et sortie :

$$\Phi = hS \frac{(T_{cs} - T_{fs}) - (T_{ce} - T_{fe})}{\text{Log}\left(\frac{T_{cs} - T_{fs}}{T_{ce} - T_{fe}}\right)}$$

On représente des petits dessins comme ceux de la figure 2 pour tracer la

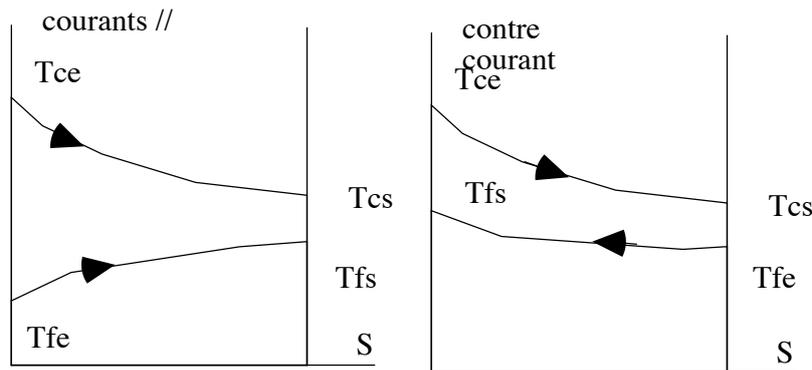


FIG. 2 – variation de la température dans des échangeurs

variation de T en fonction de la surface d'échange :

La méthode est appelée "différence de température logarithmique moyenne" (DTLM ou *LMTD*), car on écrit $\Phi = hS \Delta T_{LM}$. En réalité on écrit :

$$\Phi = hFS \Delta T_{LM}.$$

Des abaques fournissent ΔT_{LM} et F en fonction de $(T_{cs} - T_{fs})$ et $(T_{ce} - T_{fe})$ pour différentes configurations ; F est un facteur correctif qui dépend de la complexité de la configuration... Cela permet de dimensionner les échangeurs.

En examinant la formule on voit que les échangeurs à contre courant sont plus efficaces que ceux à courant parallèles.

Nous venons d'examiner la méthode dite *LMTD* (*Log mean temperature difference*), on généralise sans peine à la méthode *NUT* (ou *Number of Transfer Units*).

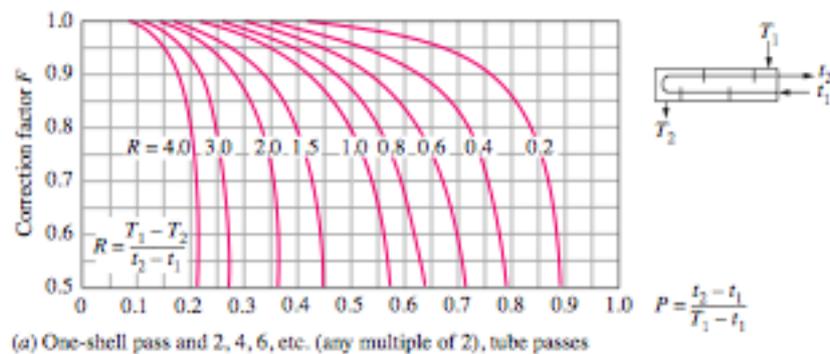


FIG. 3 – Facteur de correction pour un échangeur double, figure issue de Çengel.

2.13. Bibliographie

- Y. Çengel (1998) "Heat transfert, a practical approach", Mc Graw Hill.
- A. Leontiev (1985) "Théorie des échanges de chaleur et de masse" ed. MIR.
- J.F. Sacadura (1993) "Initiation aux transferts thermiques", Lavoisier Tec & Doc.
- P.-Y. Lagrée, cours Mécavenir EPU, systèmes ouverts/ Echangeurs

Consulter aussi <http://www.lmm.jussieu.fr/~lagree/COURS/MECAVENIR> le cours complet de thermique de P.-Y. Lagrée.