

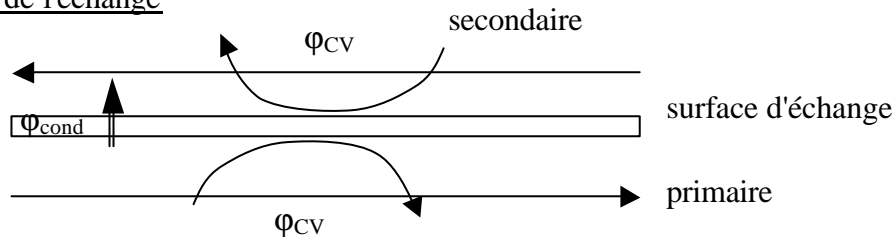
LES ECHANGEURS

I. Présentation

Fonction : Transférer de l'énergie d'un fluide à un autre fluide.

Ces deux fluides peuvent être en contact (ex : tour de refroidissement ouverte) ou non (échangeur à plaque). Dans ce deuxième cas, les fluides sont séparés par une paroi. Le fluide est dit **primaire** lorsqu'il est le "générateur d'énergie" (chaud ou froid), l'autre fluide est dit **secondaire**.

II. Mécanisme de l'échange



Remarque : Les fluides ont cédé (ou absorbé) de l'énergie, ils ont donc subi une variation de température ou un changement d'état.

Les caractéristiques des fluides évoluent le long de l'échangeur.

II.1. Classification des échangeurs

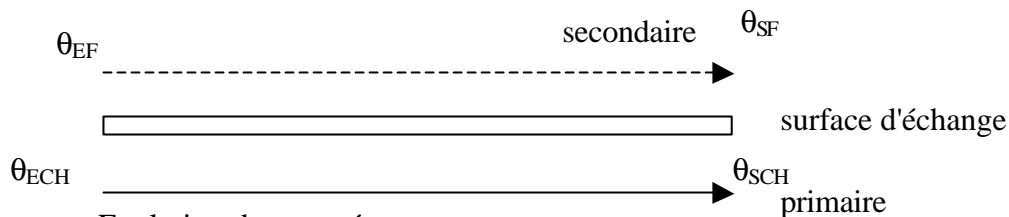
II.1.1. En fonction de mode de transfert

Echange de chaleur sensible : il n'y a pas de changement d'état.

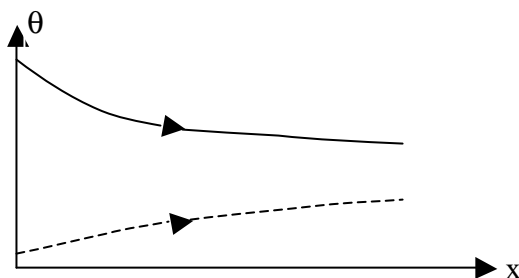
Echange avec changement d'état : un fluide au moins subit un changement d'état avec ou sans échange en sensible.

II.1.2. En fonction du parcours des fluides

Echangeur à courant parallèle



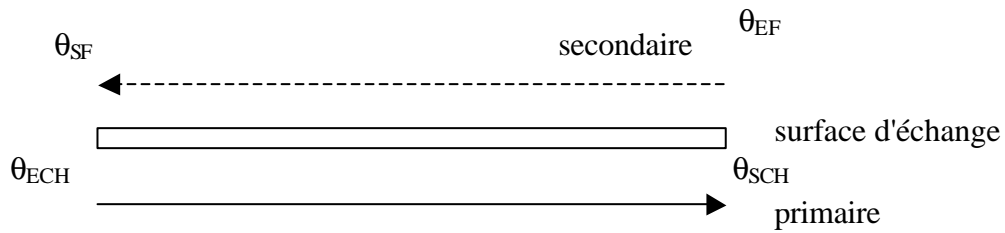
Evolution des températures :



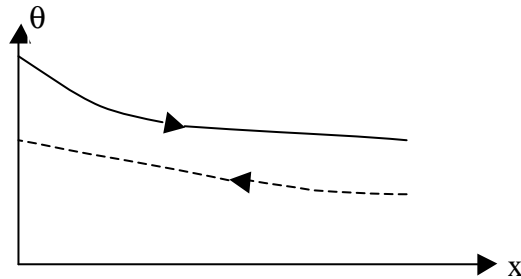
Au début les échanges sont importants et faibles à la fin car les écarts de température diminuent le long de l'échangeur.

Note : $q_{SF} < q_{SCH}$

Echangeur à contre courant



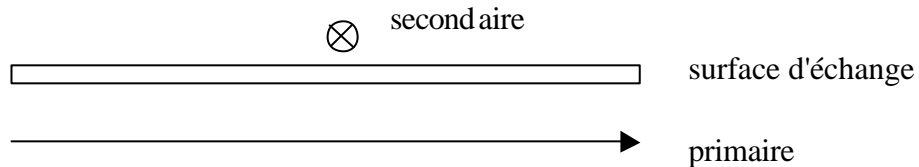
Evolution des températures :



La variation des écarts de température le long de l'échangeur est limitée. L'échange est favorisé.

Note : $q_{EF} < q_{SCH}$
 $q_{SF} < q_{ECH}$

Echangeur à courants croisés



L'évolution des températures dépend de la configuration de l'échangeur (circulation relative des deux fluides).

II.2. Remarques

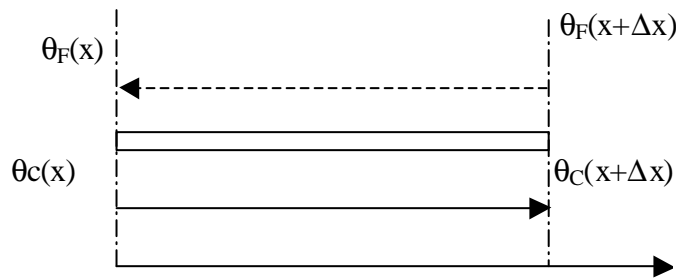
- Les transferts avec changement d'état sont plus efficaces que les transferts en chaleur sensible.
- Les paramètres intervenant dans l'échange sont :
 - Les températures
 - Les débits massiques et la vitesse des fluides
 - La nature des parois
 - Les chaleurs sensibles ou latentes
- Pour le dimensionnement, on cherchera à obtenir l'échangeur le plus petit possible

III. Bilan thermique

Hypothèses :

- **Le régime est permanent**
- **Il n'y a pas de pertes thermiques**

Principe de la mise en équation :



En x , les caractéristiques des fluides sont : h_{C1} (fluide chaud) et h_{F1} (fluide froid).
 En $x+\Delta x$, les caractéristiques des fluides sont : h_{C2} (fluide chaud) et h_{F2} (fluide froid).
 La caractéristique de l'échangeur est : $K \cdot \Delta S$ ($W/^\circ C$).
 L'exploitation des hypothèses conduit à la relation suivante:

$$q_{mC} * (h_{C1} - h_{C2}) = q_{mF} * (h_{F2} - h_{F1})$$

Lorsqu'il n'y a pas de changement d'état la relation s'écrit :

$$q_{mC} * c_{pC} * (\theta_C(x) - \theta_{C2}(x+\Delta x)) = q_{mF} * c_{pF} * (\theta_{F2}(x) - \theta_{F1}(x+\Delta x))$$

Où c_{pC} et c_{pF} sont les chaleurs massiques à pression constante des fluides chaud et froid.

Le problème est que les températures varient le long de l'échangeur. Il faut donc trouver une expression de l'énergie échangée ne faisant intervenir que les conditions d'entrée et de sortie.

III.1. Puissance de l'échangeur

Dans le cas des échangeurs à courant parallèles ou à contre courant, on a l'expression suivante :

$$P = K_G * S * DTLM$$

Avec :

- K_G : coefficient global d'échange thermique ($W/m^2^\circ C$), c'est la caractéristique de la paroi d'échange.
- S est la surface d'échange (m^2).
- **DTLM est la différence de températures logarithmique moyenne ($^\circ C$).**

Remarque : $K_G * S * DTLM = q_{mC} * (h_{CE} - h_{CS}) = q_{mF} * (h_{FS} - h_{FE})$

Avec les indices **E** pour entrée et **S** pour sortie

III.1.1. DTLM

$$DTLM = \frac{Dq_E - Dq_S}{\ln \frac{\frac{\theta_{CE} - \theta_{CS}}{\theta_{FE} - \theta_{FS}}}{\frac{\theta_{CE} - \theta_{FE}}{\theta_{CS} - \theta_{FS}}}}$$

Avec les indices **E** pour entrée et **S** pour sortie

$\Delta\theta_E$: écart de température à l'entrée de l'échangeur.
 $\Delta\theta_S$: écart de température à la sortie de l'échangeur.

Remarque : si $\Delta\theta_E$ est proche de $\Delta\theta_S$, on a :

$$\text{DTLM} \gg Dq_{\text{arithmétique}} = \frac{Dq_E + Dq_S}{2}$$

III.1.2. K_G

Il est déterminé par le constructeur. Il prend en compte les coefficients d'échange superficiels (qui varient le long de l'échangeur) et la résistance thermique de la surface d'échange.

Lors de l'utilisation, l'échangeur s'encrasse. Ce phénomène est pris en compte par le biais d'une résistance thermique supplémentaire (exemple : s'il y a circulation de fluide frigorigène, cette résistance vaut $2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$).

Pour les autres échangeurs on a :

$$P = K_G \cdot S \cdot f \cdot \text{DTLM}$$

Où f est un coefficient qui dépend du parcours relatif des fluides et des jeux de températures. Il est donné par des abaques.

Remarque : $f < 1$ car le meilleur échange se fait lorsque la circulation des fluides est à contre courant.

III.2. Efficacité

III.2.1. Définition

$$E = \frac{P_{\text{échangée}}}{P_{\text{max}}} < 1$$

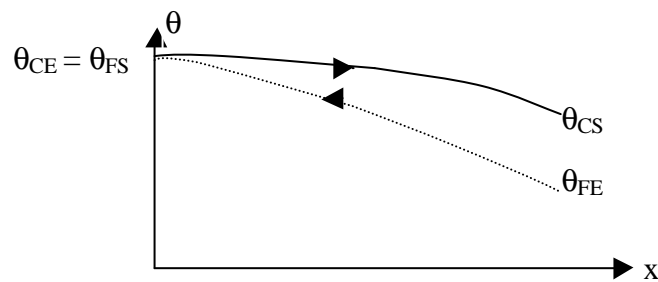
P_{max} est obtenu lorsqu'un des deux fluides a subi une variation d'enthalpie la plus importante possible. **Cette situation correspond à un échangeur à contre courant infiniment long.**

III.2.2. Echangeur sans changement d'état

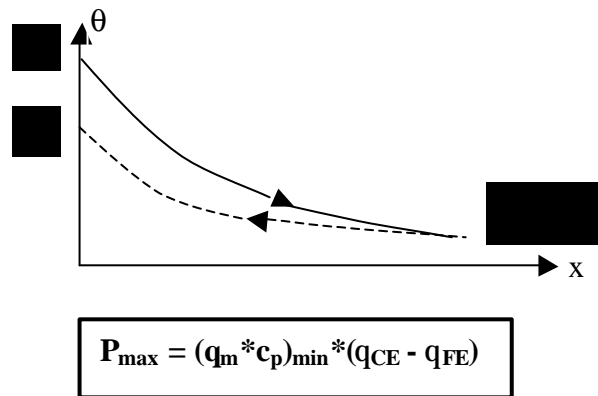
Le fluide 1 reçoit de l'énergie, le fluide 2 en fournit. On ne pourra pas échanger plus d'énergie que ce que le fluide 1 peut en recevoir **et** le fluide 2 en fournir.

L'échange sera imposé par le fluide ayant la plus petite capacité d'échange. **Ce fluide est caractérisé par le plus petit $q_m \cdot c_p$.**

Variation maximale de température si $q_{mC} * c_{pC} * > q_{mF} * c_{pF}$



Variation maximale de température si $q_{mC} * c_{pC} * < q_{mF} * c_{pF}$



L'expression de l'efficacité est :

$$E = \frac{q_{mC} * c_{pC} * (q_{CE} - q_{CS})}{(q_m * c_p)_{min} * (q_{CE} - q_{FE})} = \frac{q_{mF} * c_{pF} * (q_{FS} - q_{FE})}{(q_m * c_p)_{min} * (q_{CE} - q_{FE})}$$

Remarque : l'efficacité n'est pas un rendement. Le rendement traduit les pertes alors que l'efficacité traduit la qualité de l'échange par rapport à un modèle de référence.

III.2.3. Echangeur avec changement d'état

S'il y a changement d'état, il faut rechercher le plus petit produit $q_m * \Delta h$.