

# LES ECHANGEURS DE CHALEUR

(cours de Pascal Tobaly 2002)

L'échange de chaleur qui se produit entre 2 corps qui sont à des températures différentes peut se faire selon 3 modes:

- **CONDUCTION** : La chaleur se propage de proche en proche à travers la matière sans qu'il n'ait de transfert de cette dernière. La conduction assure un bon transfert de chaleur à travers les solides.
- **CONVECTION** : dans un fluide les différences de température produisent des différences de densité pouvant amener à des mouvements de la matière dits mouvements de convection
- **RAYONNEMENT** : Les corps émettent de l'énergie par leur surface sous forme des radiations. C'est un moyen qui n'a pas besoin de support matériel, on le rencontre donc dans le vide. Tous les corps transparents permettent à la chaleur de se propager ainsi.

Dans les installations industrielles, il est souvent nécessaire d'apporter une quantité de chaleur importante à une partie du système. Dans la majorité des cas, la chaleur est transmise à travers un échangeur de chaleur. On estime à **90% la part des transferts d'énergie** réalisée par les échangeurs de chaleur dans l'industrie.

## 1 Principe général :

**Le principe le plus général consiste à faire circuler deux fluides à travers des conduits qui les mettent en contact thermique.** De manière générale, les deux fluides sont mis en contact thermique à travers une paroi qui est le plus souvent métallique ce qui favorise les échanges de chaleur. On a en général un fluide chaud qui cède de la chaleur à un fluide froid.

**Les deux fluides échangent de la chaleur à travers la paroi d'où le nom de l'appareil.** Le principal problème consiste à définir une surface d'échange suffisante entre les deux fluides pour transférer la quantité de chaleur nécessaire dans une configuration donnée. On vient de le dire, la quantité de chaleur transférée dépend de la surface d'échange entre les deux fluides mais aussi de nombreux autres paramètres ce qui rend une étude précise de ces appareils assez complexe.

Les flux de chaleurs transférées vont aussi dépendre :

- des températures d'entrée
- et des caractéristiques thermiques des fluides (chaleurs spécifiques, conductivité thermique) des fluides
- des coefficients d'échange par convection.

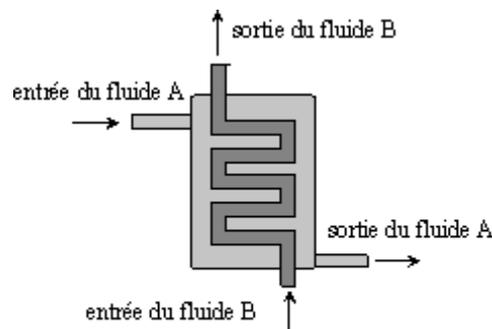


Figure 1

FIG. 1 – Echangeur à tube et calandre

## 2 Configurations géométriques

## 2.1 Echangeurs à tubes et calandres :

C'est de loin le type d'échangeur le plus répandu mais la part qu'il représente ne cesse de diminuer au profit de configurations plus efficaces. Dans ce type d'échangeurs, l'un des fluides circule dans un réservoir autour de tubes qui le traversent tandis que l'autre fluide circule à l'intérieur des tubes. Le modèle le plus simple sera constitué d'un réservoir dans lequel sera plongé un serpentín. Le modèle le plus courant est constitué d'un faisceau de tubes traversant un réservoir de manière longitudinale. On parle alors d'échangeur multitubulaire. Des parois bien placées permettent de forcer la circulation du fluide à travers les tubes de manière à ce qu'il effectue un ou même plusieurs aller-retours.

## 2.2 Echangeurs tubulaires coaxiaux :

Dans cette configuration, l'un des fluides circule dans le tube central tandis que l'autre circule dans l'espace annulaire entre les deux tubes. On distingue deux types de fonctionnement selon que les 2 fluides circulent dans le même sens ou en sens contraire. Dans le premier cas on parle de configuration en co-courant (parfois appelé à tort en parallèle). Dans le deuxième cas, on parle de configuration en contre-courant. On trouve assez souvent ce type d'échangeurs dans l'industrie frigorifique en particulier pour les condenseurs à eau ou encore les groupes de production d'eau glacée.

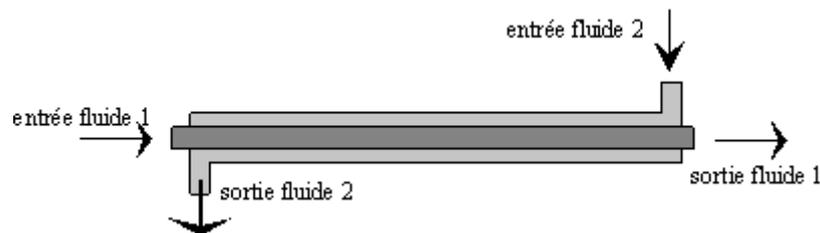


FIG. 2 – Echangeur tubulaire coaxial

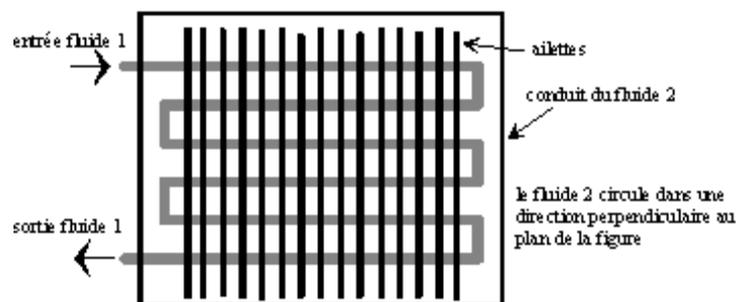


FIG. 3 – Echangeur à courants croisés

## 2.3 Echangeurs à courants croisés :

Dans ce type d'échangeurs, l'un des fluides circule dans une série de tubes tandis que l'autre fluide circule perpendiculairement autour des tubes. Dans la plupart des cas, c'est un liquide qui circule dans les tubes tandis que c'est un gaz qui circule autour. Les tubes sont presque toujours munis d'ailettes qui permettent d'augmenter le flux de chaleur échangée en augmentant la surface d'échange. L'exemple type de ce modèle d'échangeur est le radiateur de refroidissement qu'on trouve à l'avant de la plupart des véhicules à moteur.

## 2.4 Echangeurs à plaques

Les échangeurs à plaques sont constitués de plaques formées dont les alvéoles constituent les chemins empruntés par les fluides. les plaques sont assemblées de façon que le fluide puisse circuler entre elles. La distribution des fluides entre les plaques est assurée par un jeu de joints de telle sorte que chacun des deux fluides soit envoyé alternativement entre deux espaces interplaques successifs.

Les fluides peuvent ainsi échanger de la chaleur à travers les plaques. La figure 4 illustre le fonctionnement d'un tel échangeur. **L'avantage principal de ce type d'échangeur est la compacité.** En effet, on voit bien que ce dispositif permet une grande surface d'échange dans un volume limité, ce qui est particulièrement utile lorsque des puissances importantes.

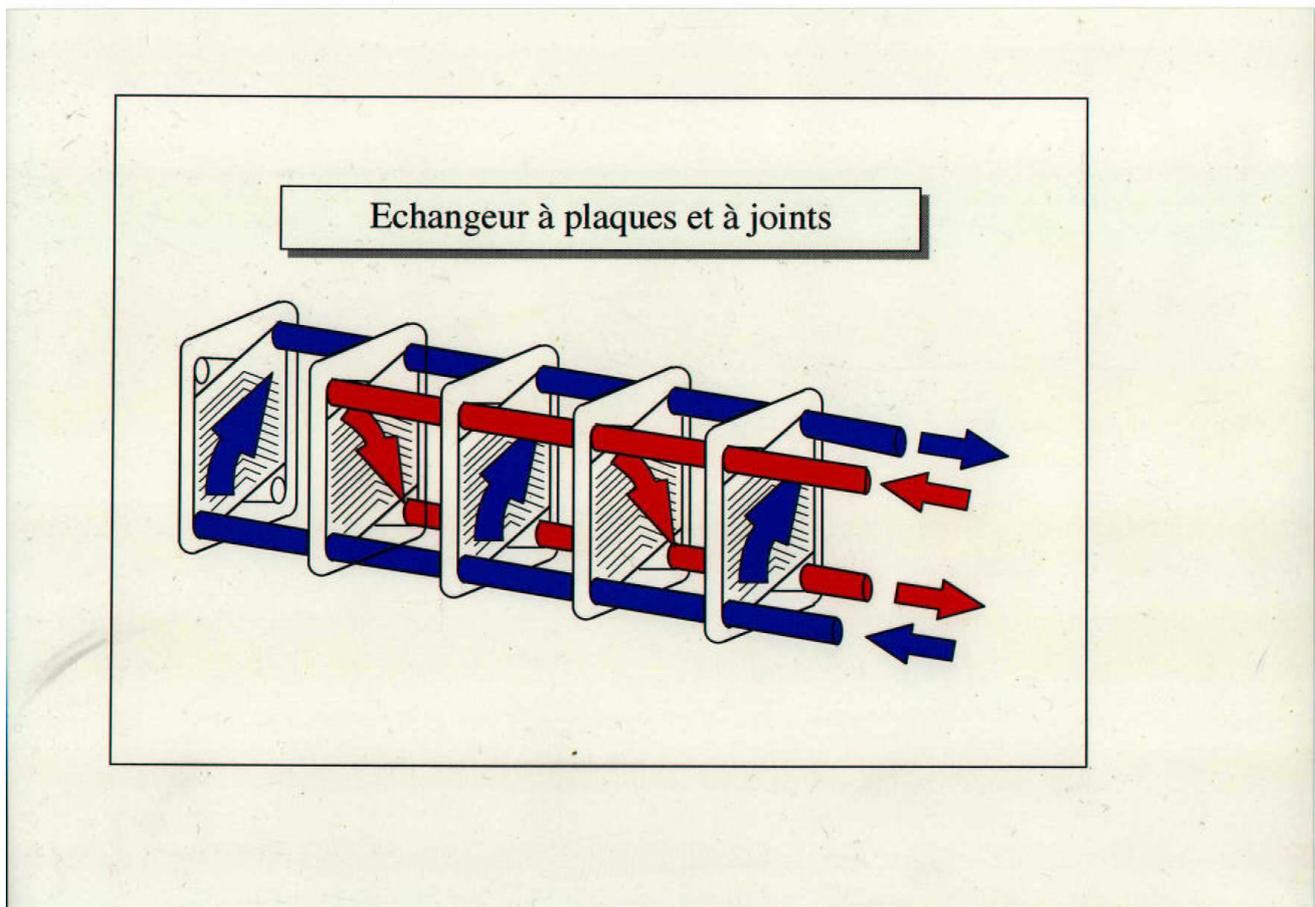
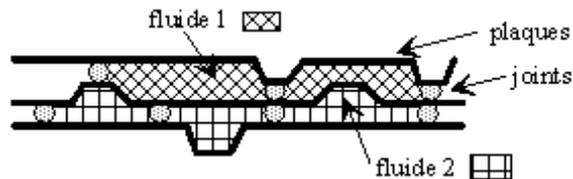


FIG. 4 – Echangeurs à plaques

**Les échangeurs à plaques sont très utilisés dans l'industrie agroalimentaire (pasteurisation du lait) ou l'industrie nucléaire. Les plaques sont généralement en acier inoxydable en particulier dans l'agroalimentaire pour des raisons évidentes d'hygiène et de santé publique.** A noter que l'utilisation de joints en matières organiques réduit la gamme de températures de fonctionnement.

### 3 Calcul des échangeurs

Pour chauffer ou refroidir (traitements thermiques) des fluides alimentaires, on utilise souvent des fluides caloporteurs ou frigoporteurs intermédiaires.

Les paramètres nécessaires au dimensionnement d'un échangeur sont :

- la surface d'échange (surfaces des plaques, surface intérieure des tubes concentriques...) : **S en m<sup>2</sup>**
- des caractéristiques de l'appareil (épaisseur des plaques, conductivité thermique) et du fluide (régime turbulent ou laminaire, épaisseurs des couches limites, viscosité...) qui détermine le coefficient global d'échange thermique (**K en kW/(m<sup>2</sup>.K)**)

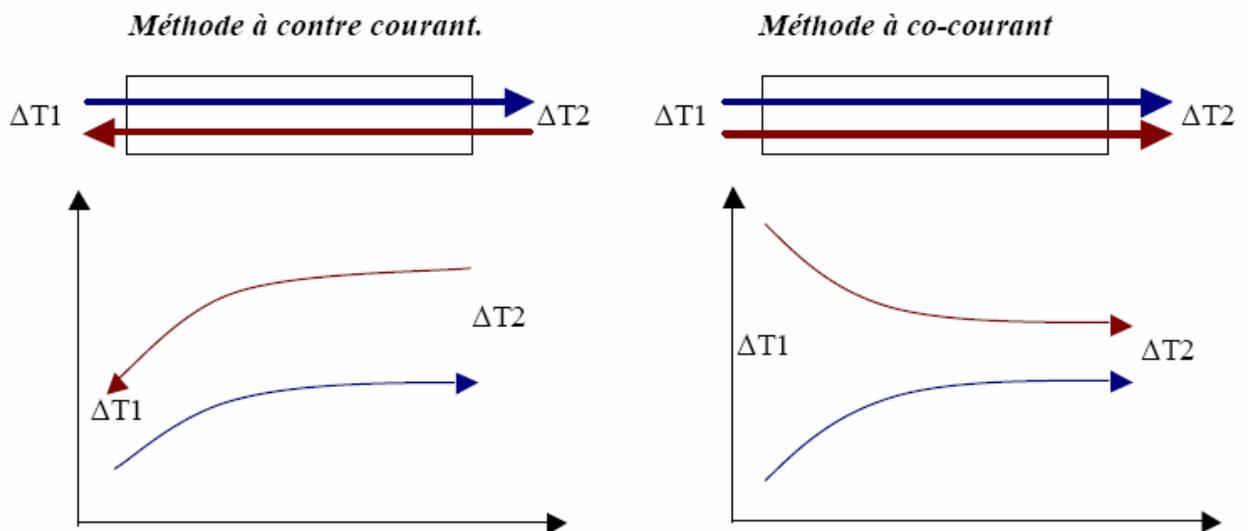
- de l'écart de température de part et d'autre de la surface d'échange. On utilise la moyenne logarithmique des écarts de température entre les extrémités de l'échangeur, notée  $\Delta T_m$

**Evaluation de l'efficacité d'un échangeur de chaleur.**

La puissance thermique d'un échangeur de chaleur est :  $P = K.S.\Delta T_m$ .

$\Delta T_m$  est la moyenne logarithmique des écarts de température des deux extrémités de

l'échangeur soit :  $\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$  ce qui donne dans les deux méthodes :



L'équation de départ est  $Q_{recue} = Q_{cédée}$  (on se met dans le cas idéal ou il n'y a pas de pertes).

Pour connaître la quantité de chaleur reçue, ou cédée on utilise suivant le fluide :

- $Q = Q_m.C.\Delta T$

A utiliser dans le cas on n'a pas de changement d'état (Chaleur sensible), comme par exemple, la pasteurisation du Lait.

- $Q = Q_m.L$

A utiliser dans le cas de changement d'état de la matière, comme par exemple, la condensation de la vapeur dans l'échangeur, ou la vaporisation de l'eau du produit.

Unités :

- $Q =$  Flux de chaleur : J/s = W
- $Q_m =$  Débit massique : Kg/s
- $C :=$  Capacité thermique (J/Kg/°C)

- $\Delta T$  = différence de température entrée/sortie du produit. Attention si la chaleur est cédée on a  $(T_e - T_s)$ , si la chaleur est reçue  $(T_s - T_e)$  qui est en fait  $-(T_e - T_s)$

Calcul de K : K est fonction de l'épaisseur de la paroi, du coefficient de transfert thermique du métal, du coefficient de film extérieur et intérieur.

#### 4. Méthode du nombre d'unités de transfert (NUT)

La méthode que nous venons de voir n'est valable que pour les échangeurs coaxiaux. Pour les autres types d'échangeurs, une méthode plus générale existe que nous allons décrire succinctement ci-dessous :

La méthode fait référence à une situation idéale à savoir le cas de l'échangeur à contre courant de longueur infinie envisagé à la fin du paragraphe précédent.

##### 4.1 Définitions :

*Debit thermique* : On appelle débit thermique le produit pour un fluide donné.

$$\phi_{max} = (\dot{m}c)_{min} \Delta T_{max}$$

*Flux maximum* : C'est le flux maximum échangé dans un échangeur à contre-courant de longueur infinie soit

$$E = \frac{\phi}{\phi_{max}}$$

*Efficacité de l'échangeur* : c'est l'efficacité par rapport au flux maximum défini ci-dessus.

$$R = \frac{(\dot{m}c)_{min}}{(\dot{m}c)_{max}}$$

*Rapport de déséquilibre* : c'est le rapport des débits thermiques soit :

Nombre d'unités de transfert : On appelle nombre d'unités de transfert, le nombre sans dimension :  
On distingue le nombre d'unités de transfert du côté chaud.

$$NUT_c = \frac{KS}{(\dot{m}_c c_c)}$$

et de même le nombre d'unités de transfert du côté froid :

$$NUT_f = \frac{KS}{(\dot{m}_f c_f)}$$

Dans la pratique, seul le NUT correspondant au débit thermique minimum est utile. On le notera NUT sans préciser d'indice :

$$NUT_f = \frac{KS}{(\dot{m}_f c_f)}$$

L'idée de la méthode du NUT consiste à exprimer l'efficacité  $E$  de l'échangeur en fonction des 2 paramètres  $R$  et  $NUT$  pour chaque configuration d'échangeur. On dispose alors d'une fonction générale indépendante des conditions particulières de température ou de débit qui permet de calculer rapidement les flux mis en jeu sans connaître les températures de sortie. Remarquons que les trois grandeurs utilisées ici  $E$ ,  $R$ ,  $NUT$  sont sans dimension ce qui fait toute l'efficacité de la méthode.

#### 4.2N Calcul du NUT

Pour chaque type d'échangeur, l'expression de la fonction générique  $E = E(R, NUT)$  doit être développée une fois pour toute. Le co-courant est le cas le plus simple. Dans certains cas,  $E$  est donnée graphiquement sous la forme d'une série de courbes pour différentes valeurs du paramètre  $R$ . Les constructeurs peuvent aussi fournir de tels diagrammes pour leurs appareils. Enfin, il existe aussi un certain nombre de programmes permettant ce type de calculs, certains sont accessibles sur internet et peuvent même effectuer des calculs en ligne

La relation entre le NUT et l'efficacité montre que la recherche d'une efficacité élevée est coûteuse en énergie.

