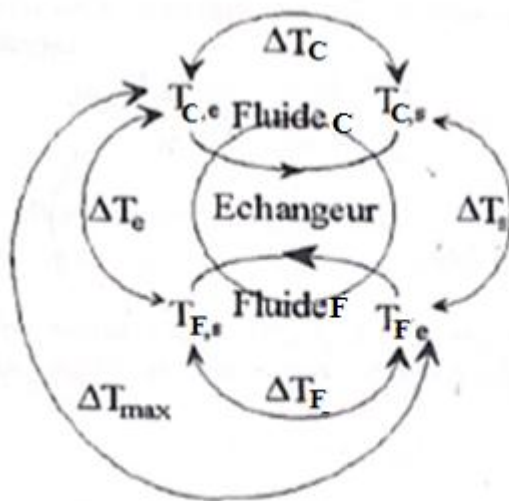


Chapitre 3. Échangeurs de chaleur et Chaudières

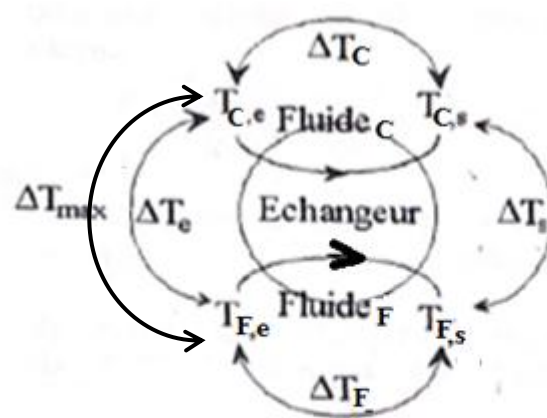
2ème leçon :

3.4.Principales températures dans un échangeur de chaleur :

Les principales températures nécessaires pour le dimensionnement d'un échangeur de chaleur à triple tube concentrique sont schématisées sur la figure ci-dessous.



Echangeur à contre- courant



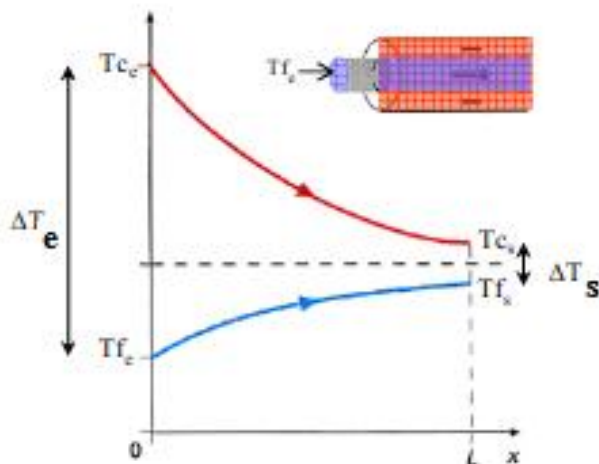
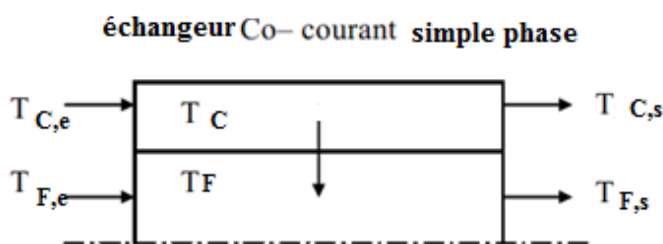
Echangeur à co- courant

| Échangeur | ΔT_F | ΔT_C | ΔT_e | ΔT_s | ΔT_{max} |
|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Contre -courant | $T_{F,s} - T_{F,e}$ | $T_{C,e} - T_{C,s}$ | $T_{C,e} - T_{F,s}$ | $T_{C,s} - T_{F,e}$ | $T_{C,e} - T_{F,e}$ |
| Co-courant | $T_{F,s} - T_{F,e}$ | $T_{C,e} - T_{C,s}$ | $T_{C,e} - T_{F,e}$ | $T_{C,s} - T_{F,s}$ | $T_{C,e} - T_{F,e}$ |

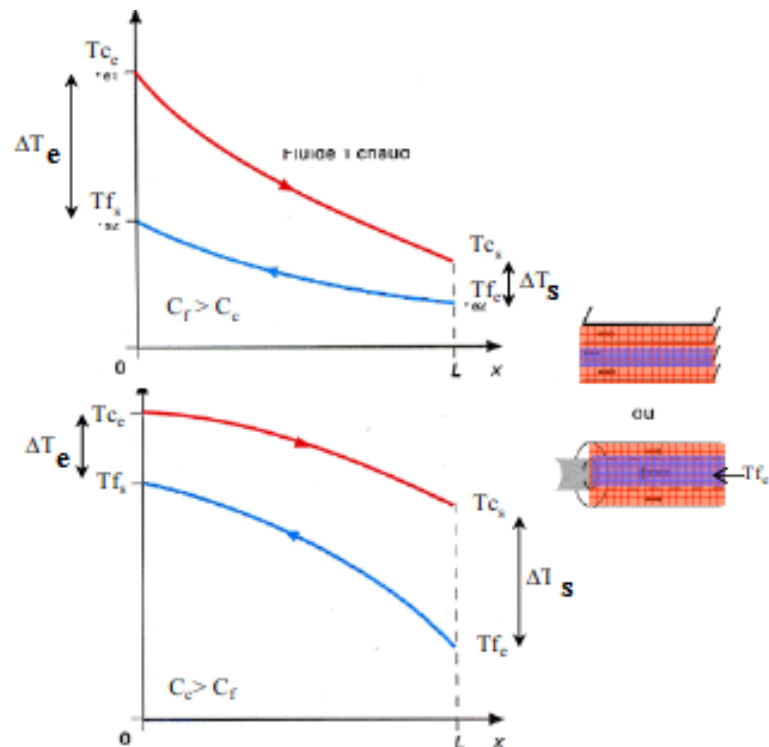
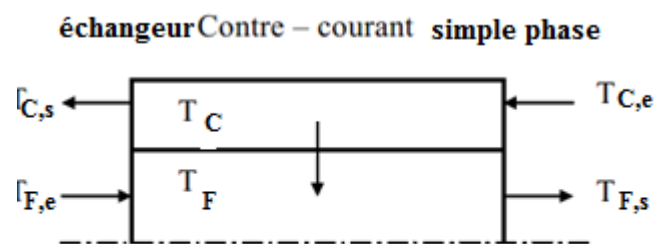
3.4.1.Évolution des températures dans les échangeurs

La température des fluides évolue pendant leur passage dans l'échangeur de chaleur, à moins que l'un des fluides subisse un changement de phase, dans ce cas la température de ce fluide reste constante.

Les figures suivantes montrent l'évolution des températures des deux fluides pour les trois cas : co-courant, contre-courant et avec changement de phase.



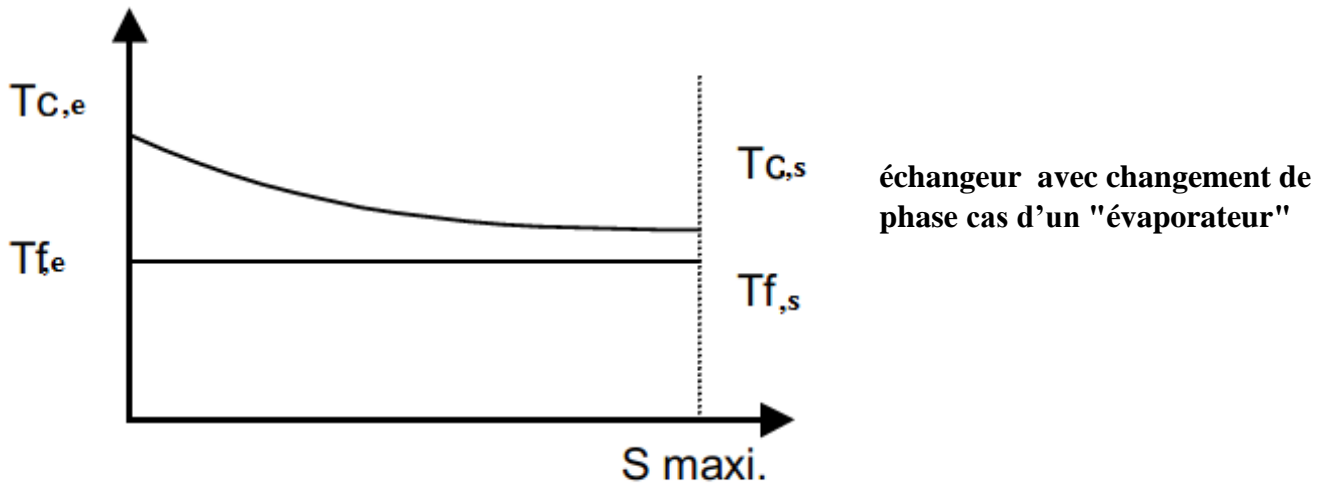
Distribution des températures dans un échangeur à courants parallèles co-courant



Distribution des températures dans un échangeur à contre-courant

Echangeur contre -courant

→ favorable pour l'échange thermique



3.5.Coefficient global d'échange global

Le transfert de chaleur du fluide chaud au fluide froid dans un échangeur se fait par :

- Convection fluide chaud-paroi : coefficient de convection h_c .
- Conduction à travers la paroi : conductivité λ et épaisseur e .
- Convection fluide froid-paroi : coefficient de convection h_f .

Le coefficient d'échange global propre est défini en fonction de la résistance thermique totale au transfert de chaleur entre deux fluides

On le détermine en prenant compte l'apport de chaque résistance à la résistance thermique totale

Pour la convection côté chaud : $\frac{1}{h_i S_i}$

Pour la convection côté froid : $\frac{1}{h_e S_e}$

Pour la conduction : $\frac{e}{\lambda}$ pour une plaque

et : $\frac{\ln \frac{d_e}{d_i}}{2\pi\lambda L}$ pour le cas cylindrique

Il vient donc :

$$\frac{1}{K_{\text{propre}} S} = \frac{1}{(h_e S_e)} + R_m + \frac{1}{(h_i S_i)}$$

On remarque que la surface d'échange n'a pas toujours la même étendue au contact des deux fluides, donc il faut rapporter K à la surface d'échange du côté du fluide froid ou du côté du fluide chaud.

Par convention on rapporte le coefficient d'échange global propre K à la surface extérieure du tube, donc :

Pour une paroi cylindrique

$$K_{\text{propre}} = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{d_e}{2\lambda} \ln \frac{d_e}{d_i} + \frac{d_e}{d_i} \left(\frac{1}{h_i} \right)}$$

Pour une paroi plane

$$K_{\text{propre}} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_e}}$$

Avec :

h_e : coefficient d'échange de chaleur par convection côté extérieur en (W/m².K).

h_i : coefficient d'échange de chaleur par convection côté intérieur en (W/m².K).

d_e, d_i : Diamètre interne et externe du tube en (m).

λ : Conductivité thermique de la paroi en (W/m.K).

e : l'épaisseur de la paroi plane (m)

Quand un échangeur est mit en service, il se produit des dépôts et des salissures à l'intérieur et à l'extérieur de la paroi séparatrice. En supposant que les dépôts se sont uniformément répartis sur les parois, le coefficient d'échange global devient :

$$\frac{1}{K_{\text{effectif}}} = \frac{1}{K_{\text{propre}}} + R_e + \frac{d_e}{d_i} R_i$$

Avec :

R_e et R_i : résistance d'encrassement en m² °C/W

➤ **Ordre de grandeur de la résistance d'encrassement**

Des mesures comparatives entre les conditions de mise en service, puis le fonctionnement au cours du temps, ont permis de déduire les valeurs des résistances d'encrassement.

| | |
|---|--|
| Eau de mer à $T < 50^{\circ}\text{C}$ | $\text{Re} = 10^{-4} \text{ m}^2\text{C/W}$ |
| Eau de mer à $T > 50^{\circ}\text{C}$ | $\text{Re} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2\text{C/W}$ |
| Eau de ville à $T < 50^{\circ}\text{C}$ | $\text{Re} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2\text{C/W}$ |
| Eau de ville à $T > 50^{\circ}\text{C}$ | $\text{Re} = 3.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2\text{C/W}$ |
| Eau de rivière | $\text{Re} = 3.5 \text{ à } 7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2\text{C/W}$ |
| Vapeur d'eau non grasse | $\text{Re} = 10^{-4} \text{ m}^2\text{C/W}$ |
| Vapeur d'eau grasse | $\text{Re} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2\text{C/W}$ |
| Liquides réfrigérants | $\text{Re} = 1.8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2\text{C/W}$ |
| Fioul | $\text{Re} = 4 \text{ à } 9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2\text{C/W}$ |
| Essence, kérosène | $\text{Re} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2\text{C/W}$ |
| Huile de lubrification | $\text{Re} = 1.8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2\text{C/W}$ |
| Air non dépoussiéré | $\text{Re} = 3.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2\text{C/W}$ |
| Produits de combustion gazeux | $\text{Re} = 20 \text{ à } 70 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2\text{C/W}$ |

➤ **Ordre de grandeur de grandeur du coefficient d'échange global**

Les valeurs numériques du coefficient d'échange global k peuvent se situer dans une large fourchette. Pour fixer un peu les idées, voici quelques exemples d'ordres de grandeur :

| | | |
|------------|----------------------------|--|
| échangeurs | eau – vapeur d'eau | $k \approx 1000 \text{ à } 4000 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ |
| | eau – eau | 800 à 1700 |
| | eau – fluide frigorigène | 300 à 850 |
| | vapeur d'eau – fioul lourd | 50 à 170 |
| | vapeur d'eau – kérosène | 300 à 1100 |
| | vapeur d'eau – air | 30 à 280 |
| | air – eau | 30 à 300 |
| | air – air | 30 à 120 |