

I.6. Les échangeurs de chaleur :

Qu'est-ce qu'un échangeur ?

Dispositif permettant de transférer de l'énergie thermique entre deux fluides, habituellement séparés par une paroi solide.

Essai de classification

- selon le type d'écoulement :

- courants parallèles de même sens ou de sens contraires
- courants croisés
- combinaison des deux types précédents

- selon les types de fluides utilisés :

- 2 fluides de caractéristiques thermiques voisines (eau/eau)
- 2 fluides de caractéristiques thermiques très différentes (eau/air)

- selon la surface d'échange :

- paroi matérielle (plaque, tube, etc.)
- contact direct (aéroréfrigérant, tour de refroidissement)

I.6.1. Différents types d'échangeurs de chaleur :

La plupart des échangeurs de chaleur offrant une surface de séparation entre fluide chaud et fluide froid peuvent être classés selon les familles technologiques suivantes :

- échangeurs tubulaires
- échangeurs double tube
- serpentins (de réchauffage ou de refroidissement)
- échangeurs à plaques (démontables ou brasés)
- échangeurs spiralés
- échangeurs à faisceau-calandre

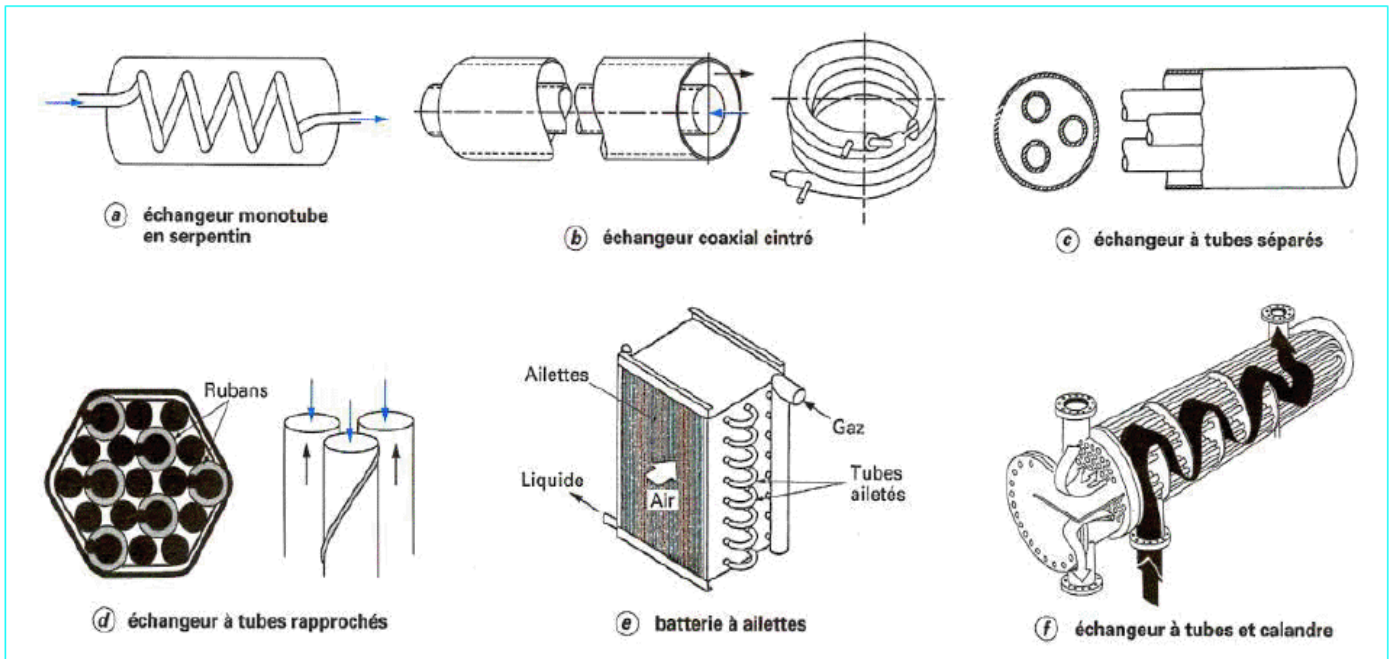
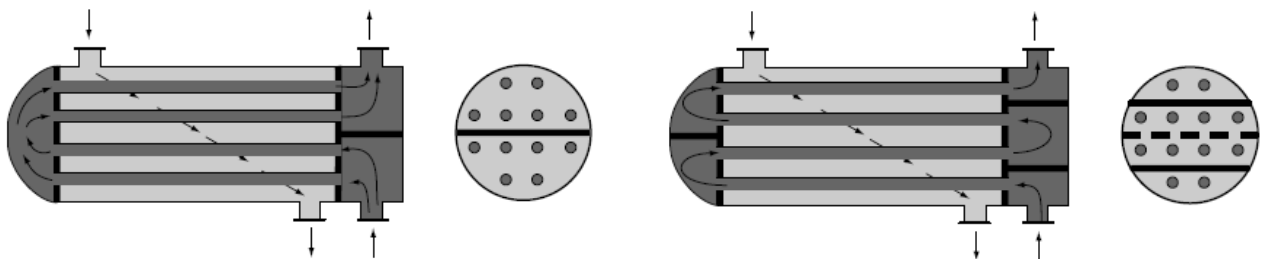


Figure - Différents types d'échangeurs tubulaires

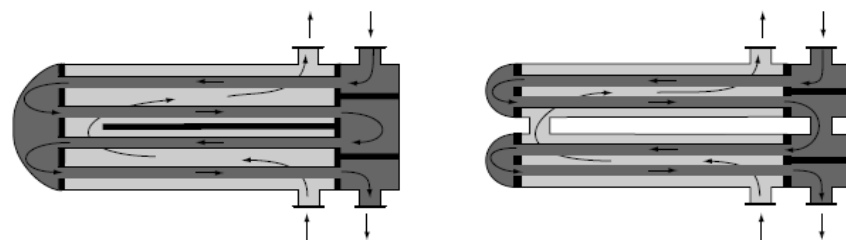
I.6.1.1. Échangeurs tubulaires à faisceau et calandre

Un des fluides circule dans un faisceau de tubes monté sur deux plaques tubulaires. Il est logé dans une calandre munie de tubulures d'entrée et de sortie pour le fluide circulant à l'extérieur des tubes le chemin imposé par les chicanes qui sont supportées par le faisceau.



Appareils 1-2 (1 passe côté calandre, 2 passes côté tubes)

Appareil 1-4



Appareil 2-4

I.6.1.2. Echangeurs double tube

Ils sont constitués par des séries de deux tubes concentriques réunis par des coudes

et des boîtes de jonction, l'un des fluides circulant à l'intérieur du tube de plus petit diamètre, l'autre dans l'espace annulaire entre les deux tubes.



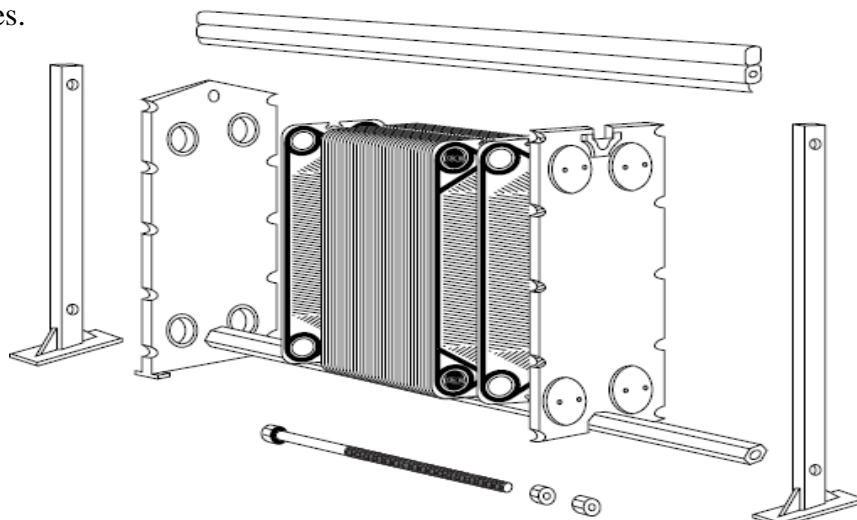
I.6.1.3. serpentins (de réchauffage ou de refroidissement)

Ces appareils sont utilisés pour maintenir des produits visqueux à **un niveau thermique adéquat afin d'assurer leur pompabilité** dans des conditions économiques



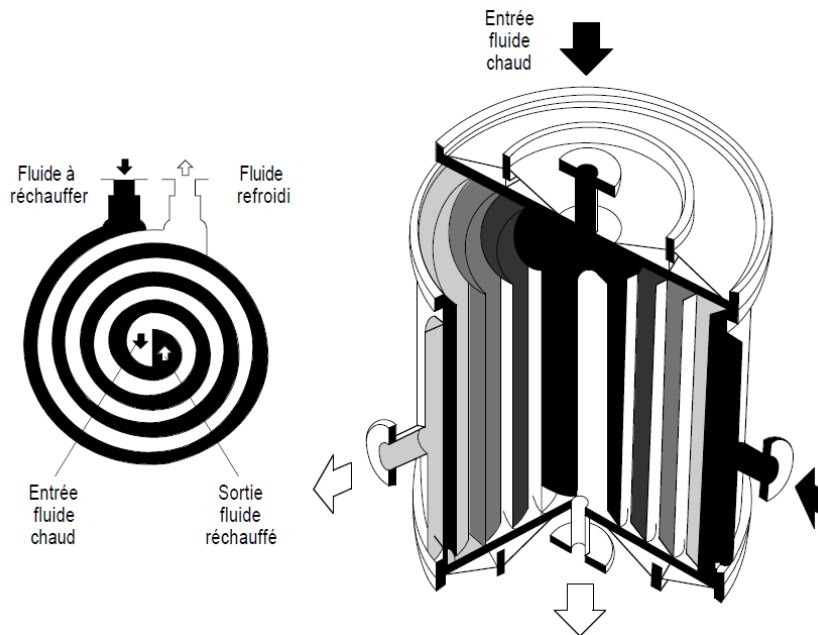
I.6.1.4. échangeurs à plaques

Un échangeur à plaques est constitué d'un ensemble de plaques embouties, en inox ou en tous autres matériaux nobles tels que le titane, l'hastelloy, etc. selon les utilisations prévues. Le transfert de chaleur entre les deux fluides s'effectue au travers de ces plaques.



I.6.1.5. échangeurs spirales

L'échangeur à spirale est constitué de deux bandes métalliques séparées par des entretoises et enroulées de façon à constituer un corps spiralé à deux canaux. Chaque fluide circule dans l'un des canaux.



I.6.1.6. AÉRORÉFRIGÉRANTS et AÉROCONDENSEURS

Un échangeur à ailettes est un échangeur relativement simple : il consiste en un conduit cylindrique ou rectangulaire sur lequel sont fixées des lames métalliques de différentes formes. Le fluide de refroidissement est en général l'air ambiant. La chaleur est transférée du fluide chaud circulant dans le conduit principal aux lames métalliques par conduction thermique ; ces lames se refroidissent au contact de l'air.



I.6.2 Dimensionnement

Le dimensionnement des échangeurs repose principalement sur un calcul de bilan thermique mais également sur la prise en compte des pertes de charges.

Le flux de chaleur Q d'un échangeur peut s'écrire de la manière suivante :

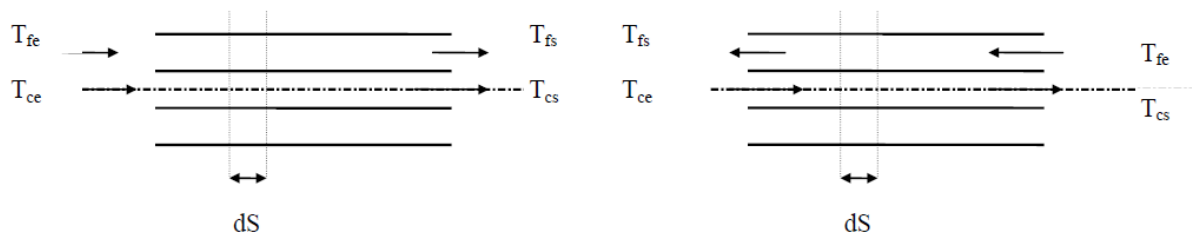
$$Q = K S \Delta T_m \quad \dots 62$$

K est le coefficient de transmission thermique surfacique moyen, S la surface d'échange et ΔT_m représente l'écart de température moyen entre les deux fluides. On est obligé de raisonner sur des valeurs moyennes de K et de ΔT_m dans la mesure où les températures des deux fluides et le coefficient K varient d'un endroit à l'autre de l'échangeur.

I.6.2.1. Théorie des échangeurs

L'approche théorique est réalisée en régime permanent et en faisant les hypothèses suivantes :

- l'échangeur est parfaitement isolé de l'extérieur (pas de pertes), on néglige la conduction axiale,
- les coefficients K et C_p sont constants,
- la température de chaque fluide est homogène dans une section donnée.



L'équation (62) peut ainsi s'écrire :

$$Q = K S \Delta T_m = G_c C_{p_c} (T_{ce} - T_{cs}) = G_f C_{p_f} (T_{fs} - T_{fe}) \quad \dots 63$$

où G représente le débit massique (kg/s) et C_p la chaleur spécifique (J/kg K),

les indices f et c sont relatifs aux fluides froid et chaud et les indices s et e à l'entrée et à la sortie de l'échangeur.

La résolution de cette équation dépend du type d'échangeur considéré ; nous allons commencer par les plus simples, c'est à dire ceux à courants parallèles.

a) ECHANGEURS A COURANTS PARALLELES

On considère les cas des échangeurs à courants parallèles et de même sens (antiméthodiques ou à co-courant) et ceux de sens contraire (méthodiques ou à contre-courant).

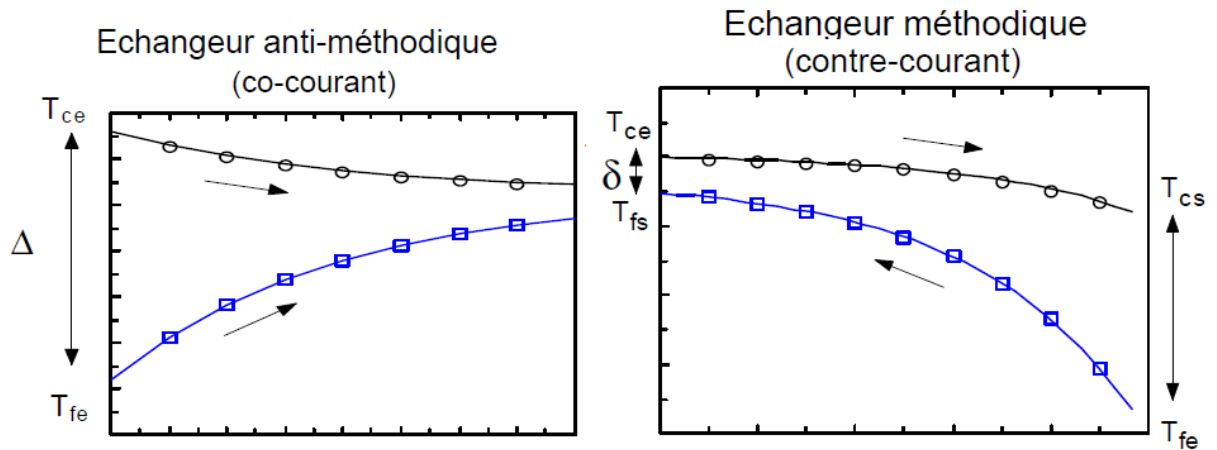


Figure: Evolutions des températures le long d'échangeurs à courants parallèles
 Dans ces deux configurations, il est possible en faisant un bilan thermique sur une tranche élémentaire, puis en intégrant sur toute la longueur de l'échangeur, de calculer l'écart de température moyen entre les fluides chaud et froid. On trouve ainsi :

... 64

$$\Delta T_m = \frac{\delta - \Delta}{\ln \frac{\delta}{\Delta}}$$

δ et Δ sont définis sur la figure.

On appelle ΔT_m l'écart logarithmique moyen et on le note DTLM.

Pour un flux thermique connu, si on fixe les débits et les températures d'entrée, on a 3 équations et 4 inconnues qui sont S , K , T_{fs} et T_{cs} ; il faut donc calculer séparément K .

Calcul du coefficient K

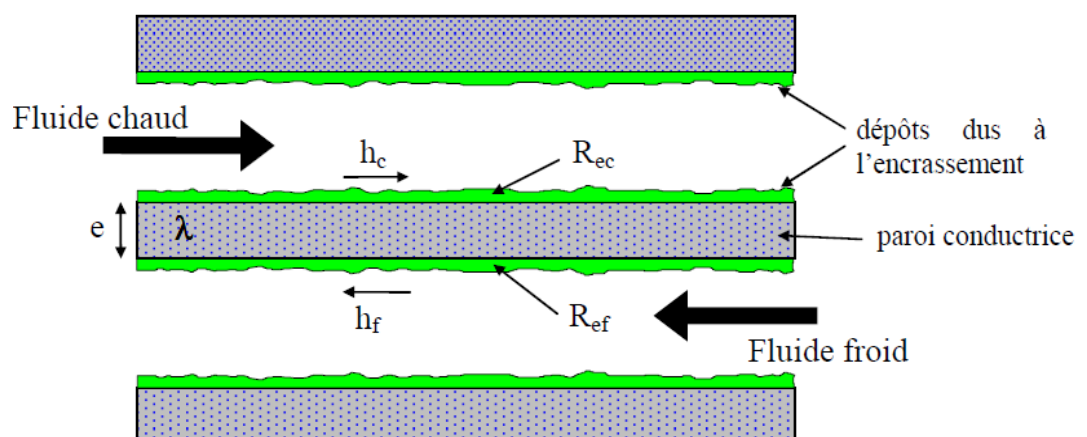


Figure 2 : Schéma de principe d'un échangeur de chaleur

Si on suppose que les transferts de chaleur entre le fluide et la paroi, d'épaisseur e et de conductivité thermique λ , se font essentiellement par convection, K peut s'écrire de la manière suivante

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_c} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_f} + R_{ec} + R_{ef} \quad \dots 65$$

h_c et h_f sont calculés avec les formules de convection forcées pour des températures de fluides moyennes et R_{ec} et R_{ef} sont les résistances thermiques d'encrassement.

I.6.2. Objet de l'étude des échangeurs

L'objectif du calcul d'un échangeur est l'évaluation d'une surface et d'une géométrie capables de réaliser le service thermique exigé par le client. Il s'agit alors de proposer l'appareil le plus économique. Pour arriver à ce résultat, on est amené à faire un compromis entre la surface et les puissances de pompage des fluides.

On peut aussi être amené à évaluer les performances d'un échangeur en fonctionnement par rapport à celles qui ont été prévues au départ par le constructeur.