

Sommaire

Chapitre I: Généralités sur les échangeurs

- I.1. Introduction
- I.2. Critères de classement des échangeurs de chaleur
- I.3. Technologie générale

Chapitre II: Performances thermiques d'un échangeur

- II.1. Utilisation de la méthode de DTLM
- II.2. Utilisation de la méthode de NUT
- II.3. Évaluation du coefficient d'échange global

Chapitre III: Dimensionnement d'un échangeur

- III.1. Utilisation de la méthode de Kern (Références: Chemical Engineering Chap12)

Chapitre I: Généralités sur les échangeurs

1.1. Introduction:

Quelle est l'utilité des échangeurs dans l'industrie? (Voir la vidéo)

Description d'un échangeur:

- Un échangeur de chaleur est un système permettant de transférer un flux de chaleur d'un fluide chaud à un fluide froid à travers une paroi sans contact direct entre eux (c.à.d. sans mélange).
- Les mécanismes de transfert thermique intervenant lors de cette échange ?
conduction convection rayonnement

Domaines d'application des échangeurs thermiques dans l'industrie:

la pétrochimie, la chimie, l'environnement, l'agroalimentaire, la papeterie,...

Exemples



Figure 1: échangeur dans un radiateur d'automobile



Figure 2: échangeur dans un évaporateur de climatiseur

I.2. Critères de classement des échangeurs

Les échangeurs existant dans l'industrie sont en général classés suivant des critères bien déterminés.

I.2.1. Classement technologique

Les principaux types d'échangeurs sont les suivants :

- Echangeurs à tubes : coaxiaux, multitubulaires, monotubes, ...
- Echangeurs à plaques : à surface primaire ou à surface secondaire.
- Echangeurs : à contact direct, à caloducs ou à lit fluidisé.

I.2.2. Classement suivant le mode de transfert de chaleur

Les trois modes de transfert de chaleur (conduction, convection et rayonnement) sont couplés dans la plupart des applications mais souvent il y a un mode de transfert prédominant.

I.2.3. Classement suivant le procédé de transfert de chaleur

Suivant qu'il y a ou non stockage de la chaleur, on définit un fonctionnement en tant que récupérateur ou en régénérateur de chaleur :

- transfert sans stockage, donc en récupérateur.
- transfert avec stockage, donc en régénérateur.

I. 2.4. Classement fonctionnel

Le passage des fluides dans l'échangeur peut se faire avec ou sans changement de phase. Suivant le cas, on dit qu'on a un écoulement monophasique ou diphasique. Les cas sont :

- les deux fluides ont un écoulement monophasique.
- un seul fluide a un écoulement avec changement de phase (cas des évaporateurs ou des condenseurs).
- les deux fluides ont un écoulement avec changement de phase (cas des évapo-condenseurs).

I.2.5. Classement suivant la compacité de l'échangeur

La compacité est donnée par le rapport de l'aire de la surface d'échange au volume de l'échangeur: Critère important dans la conception (à étudier son effet dans la partie dimensionnement).

I. 2.6. Classement suivant la nature du matériau de la paroi d'échange

On distingue deux types de paroi :

➤ les échangeurs métalliques: en acier, cuivre, aluminium ou matériaux spéciaux : superalliages, métaux ou alliages réfractaires.

➤ les échangeurs à paroi non métalliques en plastique, céramique, graphite, verre, etc.

Remarque: A faire une recherche bibliographique sur l'effet de la nature de matériau utilisé sur l'échange thermique.

▪ En conclusion:

Quels sont les critères et les paramètres sur lesquels se basent le choix d'un échangeur pour une application industrielle ?

▪ **Travail demandé :** faire une recherche bibliographique sur les différents types d'échangeurs et leurs caractéristiques techniques.

I.3. Technologie des échangeurs

I.3.1 Echangeurs tubulaires coaxiaux

Les échangeurs tubulaires sont les échangeurs utilisant les tubes comme constituant principal de la paroi d'échange et qui sont **les plus répandus**. 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.
- Dans le deuxième cas, on parle de configuration en contre-courant.

On trouve 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).

On peut avoir trouver trois catégories suivant le nombre de tubes et leur arrangement, pour une meilleure efficacité.

Différentes catégories existantes

- échangeur monotube
- échangeur coaxial
- échangeur multitubulaire

I.3.2. Exemples: quelques types d'échangeur

□ Echangeurs « double tube »

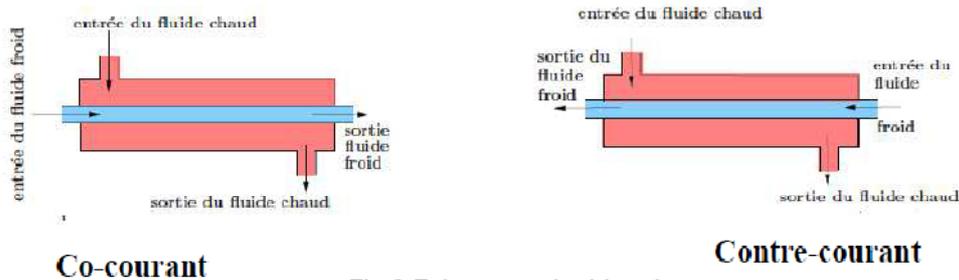


Fig.3 Echangeur double tube

□ Les échangeurs à faisceau de tubes et calandre (Tubes et Calandre, *Shell and Tube*)

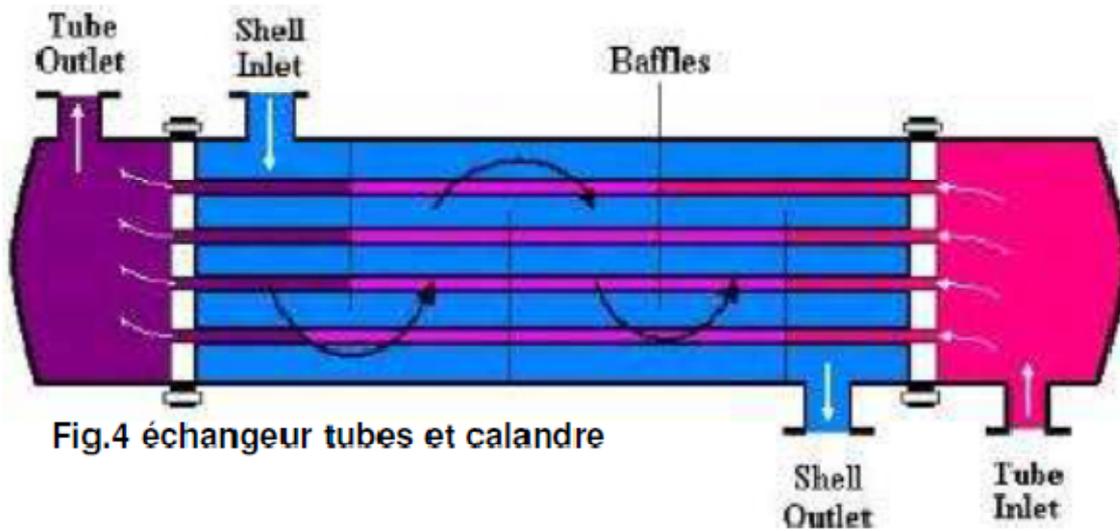
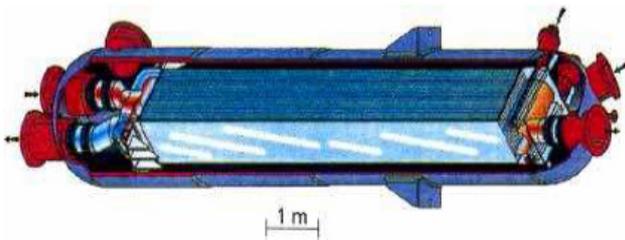


Fig.4 échangeur tubes et calandre

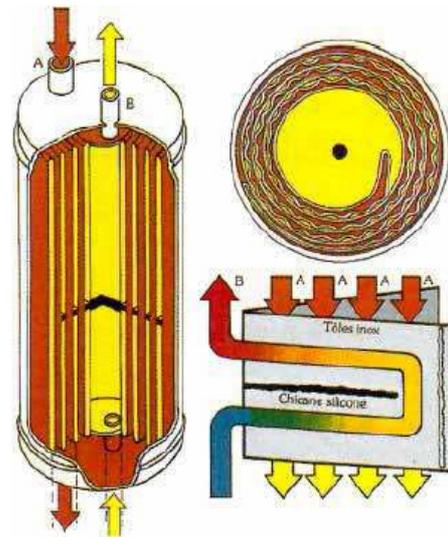
□ Exemples d'échangeurs Tubes et Calandre commercialisés



Échangeur Packinox (doc. Packinox)



Échangeur lamellaire (doc. Alfa-Laval)



Échangeur à spirale (doc. Spirec)

Échangeurs à tubes et calandre: différents types (à voir les vidéos sur ce type d'échangeur: interpréter la différence entre les caractéristiques.

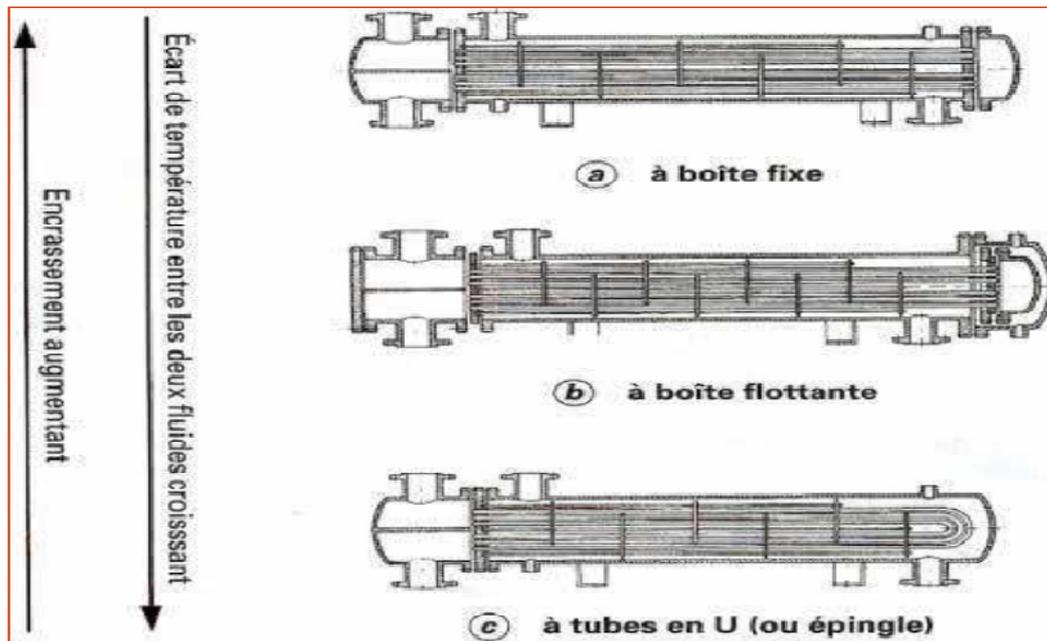


Fig. 5 échangeur tubes et calandre

□ Dans ce type d'échangeurs à faisceau de tubes et calandre, chacun des fluides peut traverser une ou plusieurs fois le volume d'échange.

Le mot << **passé** >> désigne une traversée de l'échangeur par l'un des fluides.

Si le fluide qui circule dans la calandre passe P fois dans le volume d'échange et le fluide circulant dans les tubes le traverse N fois (c.-à-d qu'il effectue N/2 allée-retour), on dit que l'échangeur est à P passé côté calandre et à N passé côté tubes (Fig6). On les nomme les modèles de type P-N.

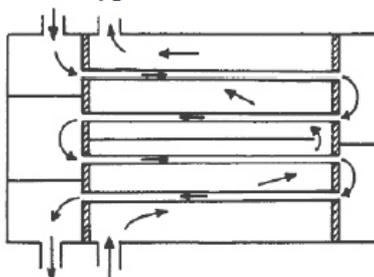


Schéma d'échangeur P-N (P =2, N=4)

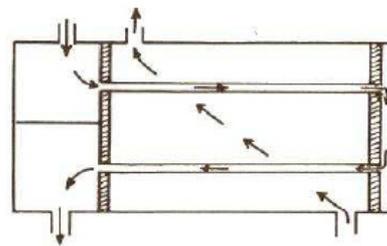


Schéma d'échangeur P-N (P=1, N=2)

Fig. 6 différent type d'échangeur (P-N)
(Tristan BERNARD (S.F.T))

De même on utilise des chicanes pour ce type d'échangeur.

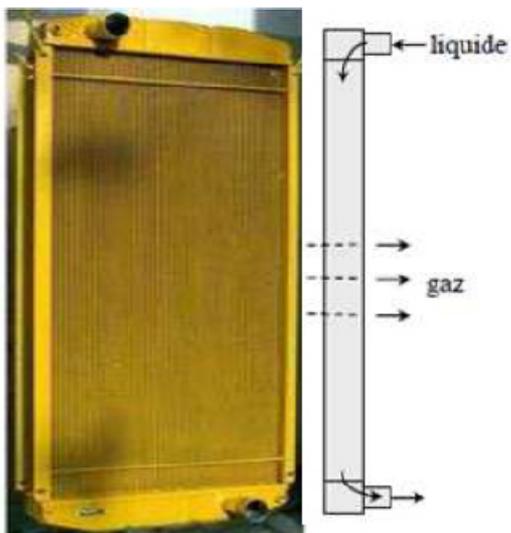
Interpréter l'effet des chicanes sur les transferts ???

I.3.3 Échangeurs tubes à ailettes

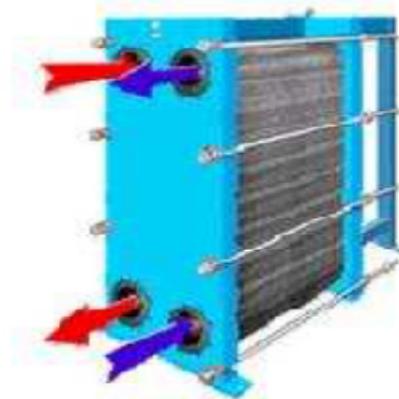
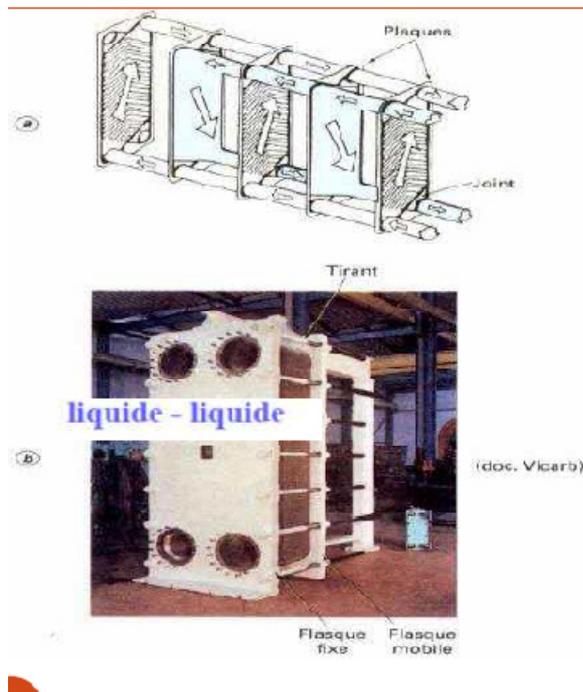
Ces types d'échangeurs représentent les cas des échangeurs gaz-liquide et liquide-gaz utilisés dans la récupération thermique (fumées ou gaz chauds). On le trouve aussi dans les différents systèmes thermodynamiques tels que pompes à chaleur ou groupes de réfrigération. En génie climatique, ces échangeurs sont appelés *batteries à ailettes*.



I.3.4. Les échangeurs compacts à ailettes



I.3.5. Échangeurs à plaques



I.3.6 Échangeurs avec un fluide changeant de phase

L'un des deux fluides peut subir un changement de phase à l'intérieur de l'échangeur.

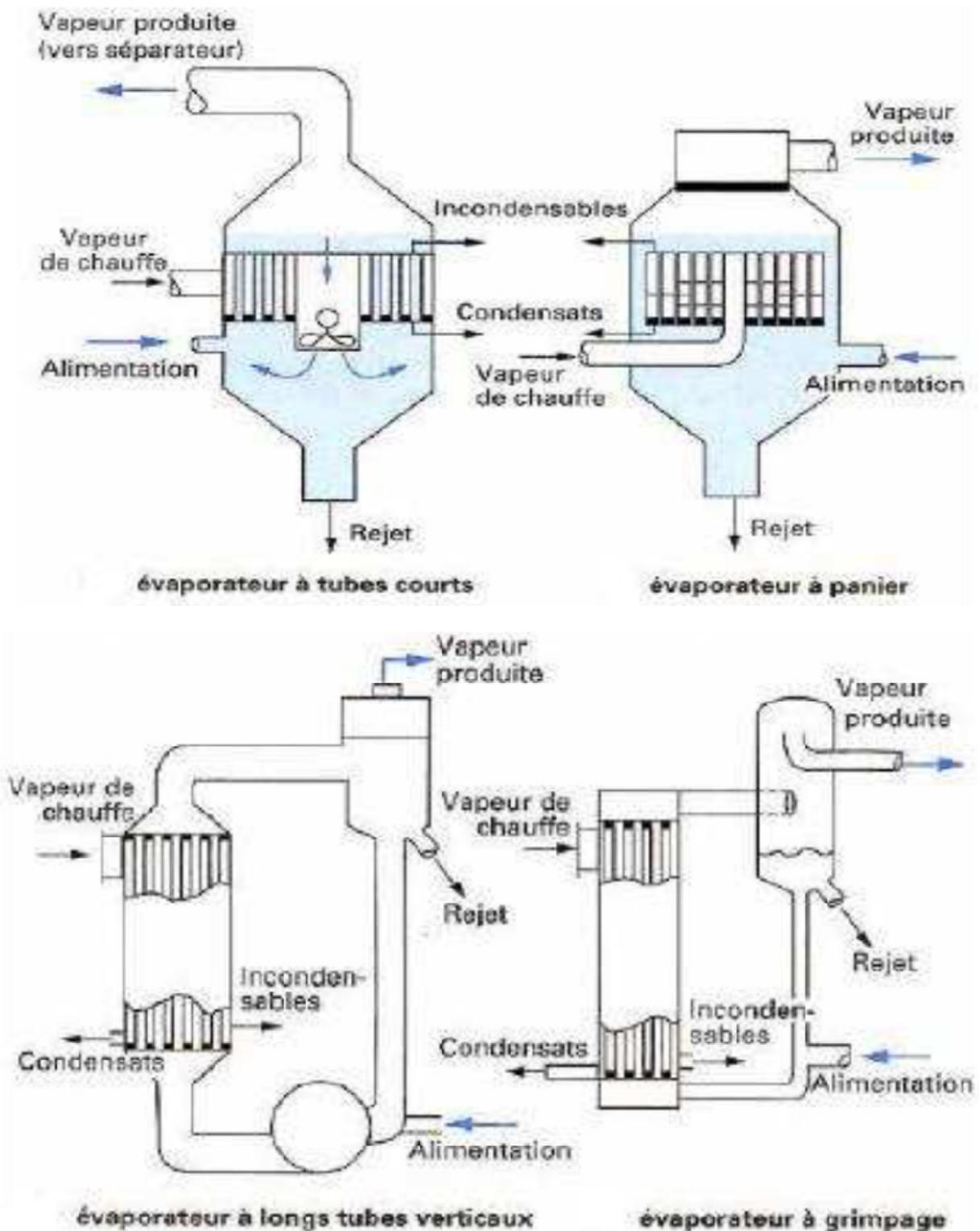
- Si le fluide froid passe de l'état liquide à l'état gazeux, on parle des évaporateurs .
- Si le fluide chaud se condense de l'état de vapeur à l'état liquide, on parle des condenseurs.

Quelques exemples d'évaporateurs tubulaires tirés de la bibliographie

On trouve : - les évaporateurs à tubes verticaux et ceux à tubes horizontaux

- Évaporateurs noyés
- Évaporateurs à tubes arrosés

□ Évaporateurs tubulaires



❑ Échangeur à caloducs

Les échangeurs à caloducs (Fig.7) sont le plus souvent utilisés pour des échanges gaz-gaz (**récupération de chaleur des fumées industrielles, climatisation**), mais aussi pour des échanges gaz-liquide, liquide-liquide ou pour des générateurs de vapeur.

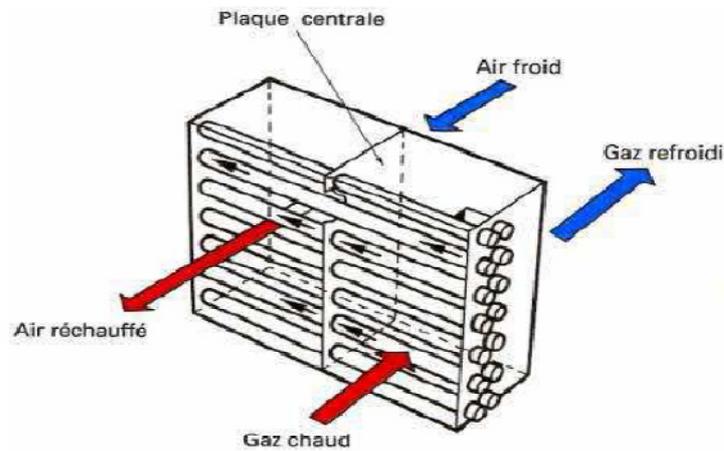


Fig. 7. schéma de principe

II.1. Évaluation des performances thermiques d'un échangeur

Pour l'étude d'un échangeur de chaleur, on aura besoin des connaissances de base acquises:

- Thermique
- Mécanique des fluides.
- Résistance des matériaux (RDM). Design

Dans ce qui suit, on va étudier les performances thermiques d'un échangeur avec des hypothèses bien déterminées

Du point de vue thermique, le problème est traité en régime permanent.

Deux méthodes seront utilisées:

- ❑ Différence de température logarithmique moyenne (DTLM).
- ❑ Nombre d'Unité de Transfert (NUT)