Sommaire

Avant-propos. **1**

Sommaire **2**

Théorie des échangeurs de chaleur 4

1. Description générale. 4

1.1. Type d'échange 4

2. Principe général. 5

3. Configurations géométriques. 5

3.1 Échangeurs tubulaires coaxiaux (simple) 5

3.2 Échangeurs Tubes / Calandre (à faisceaux complexes) 6

3.2.1 Échangeurs 1-2 9

3.2.2 Échangeurs 2-4 9

3.3 Échangeurs à courants croisés 10

3.4 Échangeurs à plaques 11

4. Calcul des échangeurs 14

4.1 Notations 15

4.2 Coefficient global d'échange thermique, U 16

4.2.1 Résistances d'encrassement, 19

4.2.2 Détermination des coefficients d'échange par convection h_c et h_f 19

4.3 Méthode DTLM (Moyenne logarithmique de la température) 21

4.3.1 Échangeur à courant parallèle/co-courant (EACP) 22

4.3.2 Échangeur à contre courants (EACC) 23

4.3.3 Comparaison entre EACP et EACC 24

4.3.4. Facteur de correction 27

4.4 Efficacité d'un échangeur 29

4.4.1 Définition 29

4.5 Méthode NUT 30

4.5.1 Nombre d'unités de transfert (Définition-Calcul). 30

4.5.2 Relation $\varepsilon - NUT$ 31

4.6 Dimensionnement 42

4.6.1 Coté Tube 42

4.6.1.1 Calcul de la puissance d'un échangeur 42

4.6.1.2 Calcul de la surface d'échange 42

4.6.1.3 Calcul du nombre de tubes 43

4.6.1.4 Calcul de la longueur des tubes 44

4.6.2 Coté Calandre 44

Liste des figures. **51**

Liste des tableaux. **52**

Références bibliographiques. **53**

Théorie des échangeurs de chaleur

1. Description générale

1.1 Type d'échange

Les échangeurs de chaleur : Sont des dispositifs qui assurent l'échange de chaleur entre deux fluides à des températures différentes sans qu'ils soient mélangés.

Au sein d'un échangeur de chaleur on peut trouver les modes d'échange suivants :

- **Conduction :** c'est la propagation de la chaleur dans la matière, sans transfert de masse. À travers les solides, la conduction assure un bon transfert de chaleur.
- **Convection :** ce mode de transfert de chaleur apparaît entre deux phases dont l'une au moins est mobile, en présence d'une différence de température. Le mouvement des phases peut être provoqué par des différences de densité dans le fluide, le transfert de chaleur est dit de *convection naturelle* ou *libre*. Le mouvement peut être provoqué par une dégradation d'énergie mécanique, le transfert de chaleur est dit de *convection forcée*. Cette dernière est essentielle pour ces appareils (échangeurs).
- **Rayonnement :** c'est l'émission d'énergie par les surfaces des corps sous forme de radiation. Elle correspond à un échange de chaleur par l'intermédiaires d'une onde de nature électromagnétique et qui ne nécessite aucun support matériel (cas du vide, certains gaz plus ou moins transparent et de certains solide).

Donc, le transfert de chaleur qui a lieu au sein d'un échangeur fait intervenir le mode convectif dans chacun des deux fluides et le mode conductif à travers la paroi qui les séparent. Généralement, le rayonnement est faible et sera négligé.

En général, Il existe trois classes d'échangeurs de chaleurs :

1. Échangeurs à transferts directs,
2. Échangeurs de stockage thermique,
3. Échangeurs à contacts directs.

2. Principe général

Le principe est de faire circuler deux fluides à travers des conduits qui les mettent en contact thermique. Ces fluides sont mis en contact thermique à travers une paroi métallique ce qui favorise les échanges de chaleur. En général, le fluide chaud cède de la chaleur au fluide froid.

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. La quantité de chaleur transférée ne dépend pas seulement de la surface d'échange entre les deux fluides mais aussi de nombreux autres paramètres.

Les flux de chaleurs transférées dépendent aussi :

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

3. Configurations géométriques

3.1 Échangeurs tubulaires coaxiaux (simple)

Un des fluides circule dans l'espace annulaire entre les deux tubes tandis que l'autre circule dans le tube central. Pour cette configuration, deux types de fonctionnements sont distingués : les deux fluides circulent dans le même sens ou en sens opposé. Le premier est un échangeur co-courant (ou courant- parallèle). Dans le deuxième cas, c'est un échangeur contre-courant. Ce type d'échangeur est souvent rencontré dans l'industrie frigorifique en particulier pour les condenseurs à eau ou dans les groupes de production d'eau glacée.

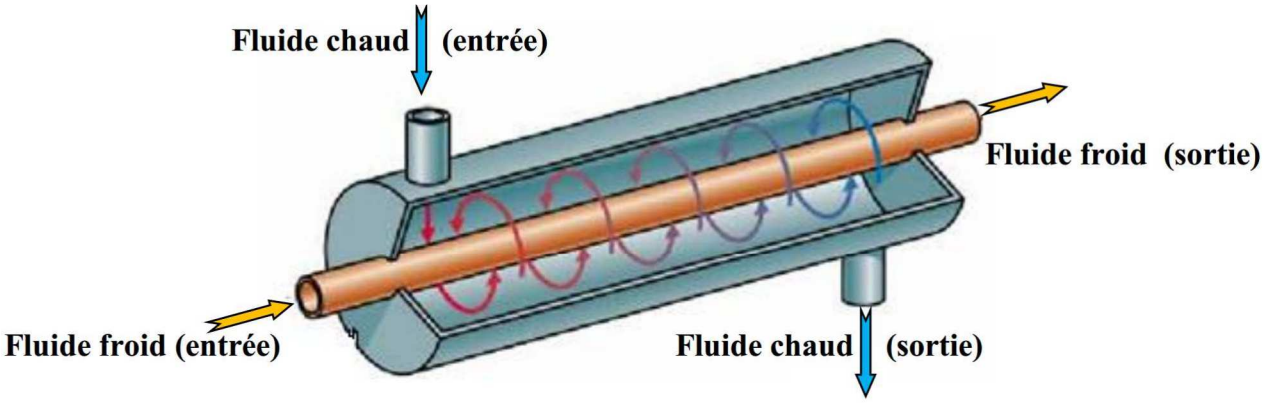


Figure 1 : Échangeur tubulaire simple. [27]

C'est le plus simple échangeur que l'on puisse concevoir, mais il est difficile avec ce type d'échangeur d'obtenir des surfaces d'échange importantes sans aboutir à des appareils très encombrants. Pour cela on a besoin de trouver d'autres géométries d'échanges.

3.2 Échangeurs Tubes/Calandre (à faisceaux complexes)

Dans ce type d'échangeurs, l'un des fluides circule dans le calandre autour de tubes qui le franchissent tandis que l'autre fluide circule à l'intérieur des tubes. Souvent, il est constitué d'un faisceau de tubes traversant un réservoir de manière longitudinale, appelé **échangeur multitubulaire**. La circulation du fluide à travers les tubes est forcée par l'emplacement des parois, de manière à ce qu'il effectue un ou plusieurs aller-retours.

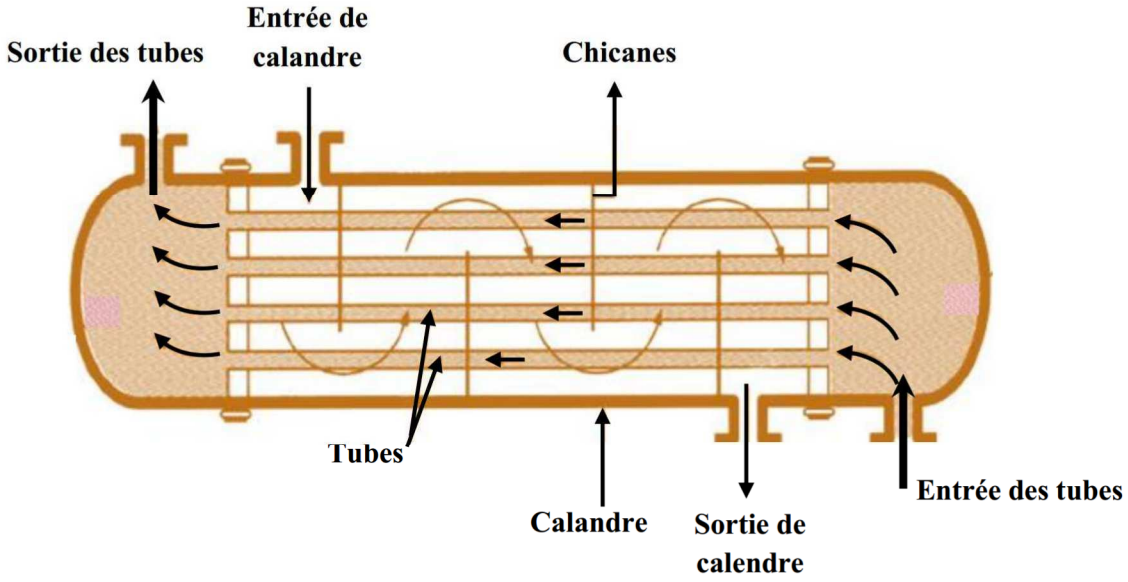


Figure 2 : Principe d'un échangeur de chaleur tubes/calandre. [11]

Le principe est schématisé dans la figure 2. Ces échangeurs sont constitués soit d'un tube unique (serpentin), soit d'un faisceau de tubes branchés en parallèle enfermés dans une enveloppe appelée calandre.

réalisée par le coût d'une plaque tubulaire est compensée par l'impossibilité de nettoyage mécanique de l'intérieur des tubes, ces faisceaux seront surtout utilisés dans les rebouilleurs à vapeurs.

3.2.1 Échangeur 1-2

Ce type est le plus simple échangeur à faisceau: le fluide qui circule dans la calandre effectue un seul passe tandis que le fluide côté tubes effectue 2 (ou 2n) passes. Pour l'échangeur présenté dans la figure (2) le fluide effectue une seule passe côté calandre et dans les tubes.

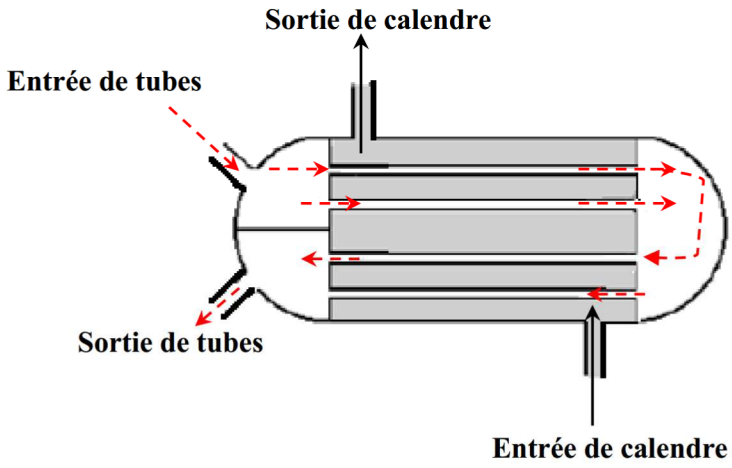


Figure 5 : Principe d'un échangeur de chaleur 1-2.

3.2.2 Échangeur 2-4

Lorsque l'échangeur 1-2 ne permet pas d'obtenir une efficacité supérieure à 0.75, on essaie à se rapprocher plus de l'échangeur à contre-courant en effectuant 2 (ou plus) passes en calandre. L'échangeur 2-4 comporte une chicane longitudinale de sorte que le fluide en calandre effectue 2 passes. Le fluide dans le tube effectue 4 (ou 4n) passes.

Les échangeurs à plaques sont très utilisés dans l'industrie agroalimentaire, l'industrie nucléaire ou chimique. Pour des raisons évidentes d'hygiène et de santé publique, les plaques sont généralement en acier inoxydable. A noter que la gamme de températures de fonctionnement est réduite par l'utilisation des joints en matières organiques.

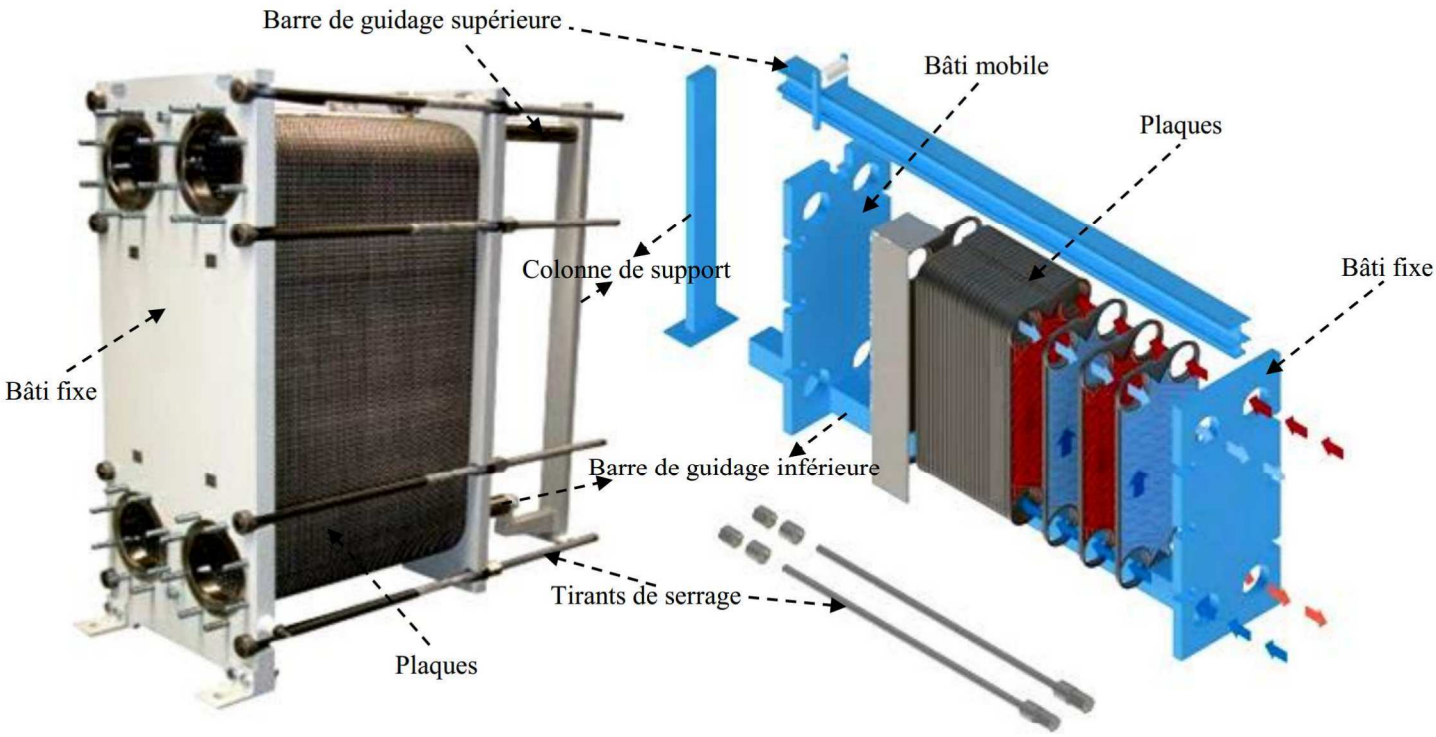


Figure 10 : Principe et constituant d'un échangeur de chaleur à plaque à joint. [25]

Ainsi, on peut trouver d'autre classification de ce type d'échangeurs (compacts/à plaques) tels :

- Les échangeurs à plaques spirales,
- Les échangeurs à plaques circulaires,
- Les échangeurs à plaques soudées.

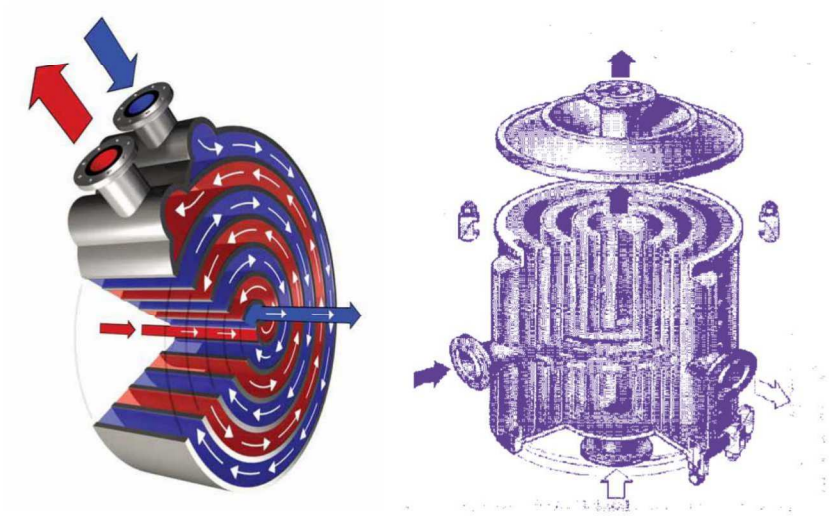


Figure 11 : Échangeur de chaleur à plaque en spirale. Les deux fluides circulent en contre courant [25].

L'échangeur spirale (figure 11) est un échangeur à plaques, constitué de deux tôles enroulées parallèlement. D'une part, l'un des fluides circule de la périphérie vers le centre de l'appareil et du centre à l'autre périphérie (la sortie). D'autre part, le deuxième fluide qui est souvent le fluide primaire circule directement et perpendiculairement à travers l'échangeur.

Tableau 1 : Caractéristique de l'échangeur à plaque présenté dans la figure 9.

Echangeur à plaque 410-440		Côté enveloppe		Côté tube	
Fluide circulant		Eau de mer		Eau dessalée	
Débit total	kg/h	7 725 000		3 379 799	
		Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
Débit d'eau	kg/h	7 725 000	7 725 000	3 379 799	3 379 799
Densité du liquide	kg/m^3	1030	1030	993	996
Viscosité du liquide	cp	0.89	0.81	0.67	0.82
Enthalpie du liquide	kcal/kg	25.02	29.2	38.68	29
Chaleur spécifique	kcal/kg°c	0.998	0.998	0.998	0.998
Conductivité thermique	kcal/h.m. °c	0.52	0.53	0.54	0.53
Température service	°c	25	29.2	38.7	29
Pression de service	kg/cm^2g	1.7	-	7.25	-
Chute de pression totale	kg/cm^2	1		1	
Coefficient d'encrassement	$°c.m^2/kcal$	0.00005		0.00004	
Chaleur échangée	kcal/h	32 705 800			
Pression design	kg/cm^2g	6.4		9.6	
Température design	°c	55		64	

Généralement, on trouve plusieurs classifications des échangeurs tels que celle présentée dans le tableau 2.

Tableau 2 : Classification des échangeurs de chaleur. [26]

Selon	Type des échangeurs de chaleur	Exemples
Procédé du transfert	Contact direct	
	Contact indirect	a) transfert direct b) stockage c) lie fluidisé
Compacité de la surface	Compacte	
	Non compacte	
Construction	Tubulaire	a) double pipe b) tube et calandre c) tube spiral
	A plaque	a) à joint b) spiral, c) lamelle
	Surface étendue	a) plaque ailettée, b) tube ailetté,
	Régénérative	a) disque rotatif b) tambour rotatif c) matrice fixée
Arrangement de l'écoulement	Un passe	a) écoulement parallèle b) contre écoulement c) écoulement croisé
	Multi passe	a) surface étendue à travers un contre écoulement, b) surface étendue à travers un écoulement parallèle, c) calandre et tube en écoulement parallèle /contre courant mélangé, d) calandre et tube en écoulement séparé, e) calandre et tube en plaque d'écoulement divisé
Nombre de fluides	Deux fluides	
	Trois fluides	
	Plusieurs fluides	
Transfert de chaleur	Mécanisme de convection dans une phase sur les côtés	
	Convection d'une phase d'un côté et convection de deux phase à l'autre	
	Convection de deux phases sur les deux côtés	
	Combinaison du transfert de chaleur convectif et radiatif	