

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université M'Hamed Bougara-Boumerdes
Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie



Département Transport et Equipements des Hydrocarbures

Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de

Master

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Hydrocarbure

Option : Génie mécanique-**Mécanique des unités Pétrochimiques...**

Présenté par : Anis Khellaf

THEME

**L'essai de dimensionnement d'un préchauffeur
P30-GA-21-01 de l'unité de traitement brut sud.**

Devant le jury :

Nom et Prénom

Grade

Université/Affiliation

Examineur

Encadrant Mme. HARKAT YAMINA

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Allah, le Tout Puissant de m'avoir donné la santé, la force, la patience et la capacité de mener à bien ce travail.

J'adresse ma profonde gratitude et mes remerciements distingués à mon encadrante, Madame Harkat, qui m'a guidé durant toute la période de ce travail à travers ses précieux conseils, ses remarques enrichissantes et son engagement avec moi dans les différentes phases du projet. Je tiens également à la remercier pour les efforts considérables qu'elle a consacrés pour valider chaque étape que j'ai réalisée.

Un grand merci à mes parents, et chacun de mes membres de ma famille, pour leur amour, leurs conseils ainsi que leur soutien inconditionnel sans lesquels je n'aurais jamais pu terminer mon travail.

Je tiens également à remercier le cadre administratif et pédagogique de mon université pour les efforts fournis durant mon cursus et dans l'organisation des stages. Un énorme merci aux membres du jury d'avoir fait l'honneur d'évaluer mon modeste travail.

Enfin, j'adresse mes remerciements les plus sincères à toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce projet.

Dédicace

Je dédie ce modeste mémoire de fin de master à mes chers parents ma mère qui a été à mes côtés et mon père rebi yrehmo pour me soutenir et m'encourager le long de mon cursus.

A ma sœur à qui je souhaite un avenir plein de réussite.

A tous mes proches qui m'ont apporté leurs sollicitudes pour accomplir ce Travail

Sans oublier tous mes amis et l'ensemble des étudiants de ma promotion.

Khellaf Anis.

La liste des figures

Figure	Titre de figure	Page
FigureI.1	Schéma du quadripôle	9
FigureI.2	Profil de température et de vitesse dans un tube.	10
FigureI.3	Schéma d'un échangeur bitube	15
FigureI.4	Schéma d'un échangeur à faisceau tubulaire	16
FigureI.5	.Schéma d'un échangeur monotube	17
FigureI.6	. Echangeurs à plaque	18
FigureI.7	Schéma d'un échangeur a ailette	19
FigureI.8	Condenseur a air	21
FigureI.9	Condenseur a tubes concentriques	21
FigureI.10	Condenseur multitubulaire	22
FigureI.11	Evaporateur a air faible puissance	23
FigureI.12	Echangeur a plaques a circulation diagonale	24
FigureI.13	Schéma d'échangeur tubulaire a courants croisés	25
FigureI.14	Schéma d'un échangeur a méandres a 5 modules	26
FigureI.15	Echangeur a tube en spirale	26
FigureI.16	Exemple d'échangeur P-N	27
FigureI.17	Echangeur a plaques : distribution a 3 passes sur chaque fluide	28
FigureII.1	Facteur de correction F	43

Figure III.1	Schéma de la maintenance	62
Figure III.2	: Echangeur encrassé et propre	64
Figure. III.3	fuite du liquide sur un échangeur de chaleur	67

La liste des tableaux

Tableau	Titre de tableau	Page
TableauII.1	Caractéristiques design préchauffeurs (A et B) de chaleur et des fluides.	40
TableauII.2	Corrélation utilisées pour calcul des propriétés physique des deux fluides	41
TableauII.3	Valeur calculées des paramètres relatifs à la géométrie des échangeurs	44

Nomenclature

Nomenclature :

A : Surface d'échange

a : Surface d'échange du tube $[m^2]$

a_{ct} : La section de la calandre $[m^2]$.

A_t : La section par passe $[m^2]$.

B : espace entre chicane $[m]$

D_c : Diamètre de la calandre $[m]$.

D_e : Diamètre équivalent $[m]$.

D_i : Diamètre intérieur $[m]$.

d_e : Diamètre extérieur $[m]$.

$DTLM$: Différence de température logarithmique moyenne $[^{\circ}C]$

e : Epaisseur $[m]$

F : Facteur de correction.

G_B : vitesse massique côté tubes $[kg/h.m^2]$

G_{ct} : vitesse massique côté calandre $[kg/h.m^2]$

L : La longueur du tube. $[m]$

N_t : Nombre de tub

P : Le pas. $[m]$

Q : Quantité de chaleur. $[Kcal/kg]$

Re : Reynolds.

R_s : résistance d'encrassement $[m^2k/w]$.

T_1 : Température d'entrée côté calandre

T_2 : Température de sortie côté calandre $[^{\circ}C]$

t_1 : Température d'entrée côté tube $[^{\circ}C]$

t_2 : Température de sortie côté tube

U_s = coefficient transfert sale $[w/m^2k]$.

U_p = coefficient de transfert propre [$w / m^2 k$]

V : vitesse de circulation de fluide [m/s].

ΔP_t : Perte de charge côté tube [bar]

ΔP_c : Perte de charge côté calandre [bar]

Symboles grecs:

Φ	Densité surfacique de flux de chaleur	w/m^2
ϕ	Flux de chaleur	W
λ	Conductivité thermique	W/m. K
ρ	Masse volumique	Kg/m^3
μ	Viscosité dynamique	Kg/ms
ν	Viscosité cinématique	m^2/s
ε	Efficacité	

Indices

E: Entrée

S:Sortie

Abréviation

BP: Basse pression.

BSW: Basique sédiment water (teneur en eau dans le brut).

CINA: Centre industriel nord(NailiAbdElhalim).

CIS: Centre industriel sud.

HP: Haute pression.

SONATRACH:Société nationale de transport et commercialisation des hydrocarbures

UTBS : Unité de traitement brut sud.

Chapitre 1 : Généralités sur les échangeurs de chaleur	7
1.1.Introduction	8
Généralités sur les échangeurs de chaleur	8
Définition générale	8
Aspect externe d'un échangeur de chaleur	8
. Capacité thermique à pression constante (Cp).....	9
. Coefficient de viscosité (μ)	9
. Conductivité thermique (λ).....	9
I.2.3Aspect interne d'u	
1.1.Introduction :	7
Généralités sur les échangeurs de chaleur :	7
Définition générale :	7
Aspect externe d'un échangeur de chaleur :	7
. Capacité thermique à pression constante (Cp) :	8
. Coefficient de viscosité (μ) :	8
. Conductivité thermique (λ) :	8
I.2.3Aspect interne d'un échangeur de chaleur :	9
I .3.mode de transfert de chaleur :	11
Critères de classification des échangeurs de chaleur :	11
➤ Classification selon la technologie :	11
➤ Classification selon le mode de transfert de chaleur :	12
➤ Classification suivant le procédé de transfert de chaleur :	12
➤ Classification suivant la nature du matériau de la paroi d'échange :	13
I .5.1.Echangeurs tubulaires :	14
a. Echangeurs << double-tubes>> :	14
b. Echangeurs à faisceau tubulaires :	16
c. Echangeur monotube :	16
I .5.3.Les échangeurs de chaleur à ailettes :	18
Fig. I.7. Schéma d'un échangeur à ailette	19
a. Condenseur :	20
Le condenseur à air :	20
Le condenseur à eau :	21
• Circuit ouvert :	22
• Circuit fermé :	22
b. L'évaporateur :	23
Évaporateur à air :	23
Evaporateur à eau :	23
I .6.Caractéristiques géométriques des écoulements	23
I .6.1.Disposition des écoulements :	24
b- circulation latérale (d'après C.Roussel)	25

1. Aspect structurels dans la conception des échangeurs :	25
a. Echangeurs à modules :	25
b. Echangeurs à passes :	27
I .7. 1. La disposition des chicanes :	30
Les méthodes de calcul des échangeurs de chaleur :	32
Méthode de la log-mean temperature difference (LMTD) :	32
Méthode de l'efficacité de l'échangeur de chaleur :	33
Méthodes numériques :	34
Méthode des pertes de charge :	36
Conclusion :	37
II.1.Introduction :	39
II .2.Partie calculs :	39
II .2.1.Hypothèses simplificatrices :	39
II .2.2.Données et caractéristiques des échangeurs :	40
Les propriétés physiques des deux fluides :	40
Tableau II .4 : corrélations utilisées pour le calcul des propriétés physique des deux fluides	41
➤ Températures caloriques TC .t C :	41
Figure II.13 : facteur de correction $F = f(r, e)$	43
-Calcul de coefficient de transfert sale :	43
(II.3)	44
A. côté faisceaux:	44
B. côté calandre:	45
o Calcul de la résistance d'encrassement :	47
Calcul des pertes de charge :	48
Calcul l'efficacité de préchauffeur :	49
Cas design :	49
. Calcul du débit de brut non stabilisé (coté tube) :	50
➤ Coté calandre:	50
. Calcul du débit de brut stabilisé :	51
➤ Coté tube:	51
Chapitre 3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur	52
la définition de la maintenance :	53
Les types de maintenance :	53
Maintenance corrective :	53
Maintenance préventive :	54
Maintenance prédictive :	55
Maintenance de l'amélioration continue :	56
Maintenance conditionnelle :	58
Maintenance planifiée :	59
Maintenance de sécurité :	60

Encrassement :.....	62
Corrosion :.....	64
Fuites :.....	65
Blocage :	68
Fatigue thermique :	69
Déséquilibre de débit :	71
Usure :.....	72
1. Problèmes de conception :.....	73
les types de maintenance d'un échangeur de chaleur :	74
CONCLUSION	76
Conclusion générale :.....	77
Bibliographie	78
.....	

Introduction

Introduction :

Les échangeurs thermiques ont une large gamme d'applications, principalement dans l'industrie, mais aussi dans les domaines résidentiels et de transport. Pour donner un exemple, environ 30% des équipements des unités pétrochimiques sont des appareils d'échange de chaleur. Il est devenu de plus en plus essentiel d'avoir des informations complètes sur l'état des processus industriels de récupération d'énergie en temps réel. Ces informations permettraient de détecter, de suivre et de prédire les perturbations et les détériorations du transfert de chaleur, tout en contribuant à la préservation de la couche d'ozone.

Dans l'industrie pétrolière, les échangeurs de chaleur sont des composants essentiels, en particulier dans le traitement du pétrole brut. La distillation atmosphérique du pétrole brut est l'unité fondamentale d'une raffinerie. Afin de garantir la rentabilité de ces unités de production, dont le rendement dépend souvent de l'état optimal des échangeurs de chaleur, un suivi rigoureux de leur état est impératif.

L'un des principaux défis technologiques des échangeurs de chaleur est d'améliorer le transfert thermique entre les deux fluides tout en minimisant les pertes de charge, en réduisant autant que possible l'encrassement. L'encrassement est un phénomène prédominant qui nuit aux performances de ces installations, et il est évalué en mesurant le coefficient global de transfert de chaleur ainsi que la résistance à l'encrassement au fil du temps.

Un exemple concret de cette problématique est la température de sortie de la batterie de préchauffage côté tube, qui alimente la colonne de stabilisation. Cette température est passée de 114°C à environ 100°C en raison principalement de l'encrassement des préchauffeurs de la colonne, un phénomène caractérisé par la résistance à l'encrassement.

Dans cette étude, nous présentons une analyse numérique visant à comprendre le champ dynamique et thermique de l'écoulement du brut stabilisé du côté de la calandre, ainsi que du brut non stabilisé du côté du tube.

Dans ce besoin, cette étude est répartie sur trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la zone d'étude, ou on a donné une description sur les généralités de l'échangeur de chaleur
- Le deuxième chapitre concerne l'essai de dimensionnement d'un préchauffeur P30-GA-21-01 de l'unité de traitement brut sud.
- Le troisième chapitre concerne la maintenance d'un échangeur de chaleur

Chapitre 1 : Généralités sur les échangeurs de chaleur

I.1.Introduction :

L'échangeur de chaleur joue un rôle crucial dans la gestion de l'énergie au sein des sociétés industrielles. Près de 90% de l'énergie thermique utilisée dans les procédés industriels passe au moins une fois par un échangeur de chaleur, que ce soit dans les procédés eux-mêmes ou dans les systèmes de récupération de l'énergie thermique. Ces échangeurs sont largement utilisés dans divers secteurs tels que l'industrie chimique, pétrochimique, sidérurgique, agroalimentaire, énergétique, ainsi que dans le transport automobile, aéronautique, et même dans le secteur résidentiel et tertiaire pour le chauffage et la climatisation. Le choix d'un échangeur de chaleur pour une application donnée dépend de nombreux facteurs tels que la plage de température et de pression des fluides, les propriétés physiques et corrosives de ces fluides, ainsi que les exigences en matière de maintenance et d'espace disponible. Il est évident que l'utilisation d'un échangeur de chaleur adapté, correctement dimensionné, bien construit et utilisé de manière appropriée, permet d'améliorer l'efficacité énergétique des procédés et d'optimiser la consommation d'énergie.

Généralités sur les échangeurs de chaleur :

Définition générale :

Les échangeurs thermiques sont des dispositifs conçus pour faciliter les échanges de chaleur entre deux fluides, sans qu'ils se mélangent. Le principe de base consiste à faire circuler ces deux fluides à travers des conduits qui les mettent en contact thermique. Généralement, cette mise en contact thermique se fait à travers une paroi métallique, favorisant ainsi les transferts de chaleur. Dans la plupart des cas, un fluide chaud cède de la chaleur à un fluide froid.

Pour garantir un échange de chaleur efficace, il est courant de mettre en mouvement au moins l'un des fluides (à l'aide d'une pompe ou d'un ventilateur). Pour augmenter davantage cet échange et donc le transfert d'énergie, on peut également recourir à des processus de changement de phase tels que des condenseurs, des évaporateurs, des bouilleurs, ou encore des systèmes comme les machines thermiques ou les caloducs.

Aspect externe d'un échangeur de chaleur :

Lorsqu'on observe un échangeur de chaleur de l'extérieur, il apparaît comme une boîte noire équipée de deux entrées et de deux sorties, semblable à un quadripôle électrique. Il est pratique de mesurer les caractéristiques essentielles du fonctionnement de l'échangeur à ces points d'entrée et de sortie, plutôt que de réaliser des mesures plus complexes à l'intérieur de l'appareil. Ainsi, nous établirons des paramètres mesurables pour chacun des fluides 1 et 2, à l'entrée et à la sortie de chaque branche de l'échangeur :

- L'état : liquide, gazeux ;

Chapitre 1 : Généralités sur les échangeurs de chaleur

- Le débit-masse, constant de l'entrée à la sortie ;
- La température, variable dans l'échangeur ;
- La pression, peu variable.

Il est important de noter que les caractéristiques thermo physiques de chaque fluide sont également connues, notamment :

- la capacité thermique massique (chaleur massique) c_p ;
- la masse volumique ρ ;
- la conductivité thermique λ ;
- la viscosité μ ;

Ainsi que les lois de variation avec la pression, et surtout avec la température, de ces différents paramètres.

Les lois de variation des différents paramètres (C_p , μ , λ) avec la pression et la température dépendent des propriétés spécifiques de chaque fluide. Voici quelques informations générales sur ces variations :

. Capacité thermique à pression constante (C_p) :

La variation de C_p avec la pression est généralement négligeable, surtout pour les gaz parfaits. Pour les liquides, la variation de C_p avec la pression peut être plus significative, mais cela dépend du fluide spécifique.

La variation de C_p avec la température est souvent d'une grande amplitude. Par exemple, pour les gaz, C_p augmente généralement avec la température.

. Coefficient de viscosité (μ) :

Pour les fluides C_p , la variation de μ avec la pression est généralement faible, voire négligeable.

La variation de μ avec la température peut être significative. En général, la viscosité diminue avec l'augmentation de la température pour la plupart des liquides. Pour les gaz, la viscosité est généralement peu sensible à la température.

. Conductivité thermique (λ) :

La variation de λ avec la pression est généralement négligeable pour les fluides C_p .

La variation de λ avec la température peut être significative. Pour la plupart des liquides et des

gaz, la conductivité thermique augmente avec l'augmentation de la température.

Il convient de noter que ces lois de variation peuvent varier pour chaque fluide spécifique. Les propriétés thermodynamiques et de transport des fluides sont généralement détaillées dans des tables de référence ou des bases de données spécifiques à chaque fluide. Il est recommandé de consulter les données spécifiques au fluide utilisé dans votre échangeur pour obtenir des informations plus précises sur les variations de ces paramètres avec la pression et la température.

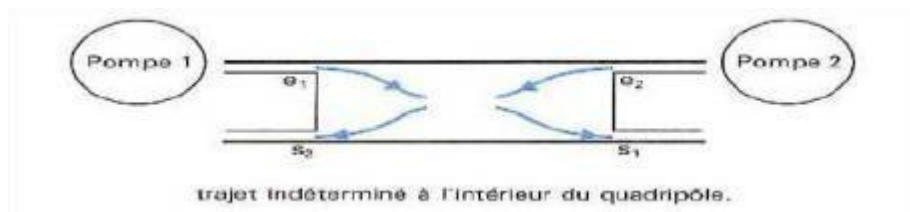


Fig. I.1. Schéma du quadripôle

I.2.3 Aspect interne d'un échangeur de chaleur :

Pour comprendre ce qui se passe à l'intérieur du quadripôle, il est nécessaire de suivre l'évolution thermique d'un volume élémentaire ($d\tau$) d'un des fluides circulant en trois dimensions (x, y, z). En utilisant des concepts tels que la température de mélange et la vitesse de débit, il est souvent possible de localiser cet élément en utilisant uniquement sa position curviligne (s) le long du trajet depuis l'entrée jusqu'à la sortie sur une distance L .

L'évolution de ce fluide est intrinsèquement liée à celle du deuxième fluide, et donc les deux calculs doivent être effectués simultanément.

En général, la section de passage (A) d'un fluide reste constante de 0 à L , à l'exception des zones de distribution ou de collecte du fluide près de l'entrée ou de la sortie.

Cette section A , qui peut être la somme de différentes sections des canaux élémentaires si plusieurs d'entre eux sont montés en parallèle, est délimitée par un périmètre mouillé (P_m) du canal ou de l'ensemble des canaux.

La partie de ce périmètre qui se trouve sur la paroi d'échange, séparant les deux fluides, est

appelée périmètre thermique (Pt). Dans certains cas, le périmètre thermique est identique au périmètre mouillé.

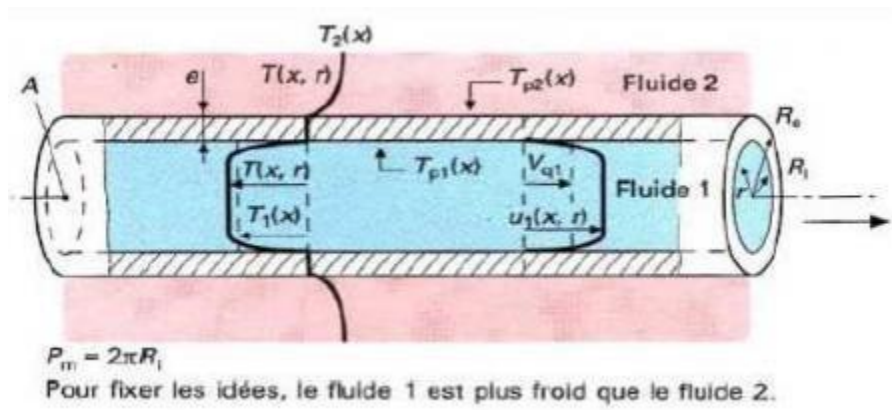


Fig. I.2 Profil de température et de vitesse dans un tube.

Chapitre 1 : Généralités sur les échangeurs de chaleur

I.3.mode de transfert de chaleur :

. Le transfert de chaleur dans un échangeur de chaleur se produit principalement par trois modes de transfert :

1. **Conduction thermique** : Il s'agit du transfert de chaleur à travers un solide ou un matériau, où la chaleur se propage de proche en proche par interaction entre les particules. Dans un échangeur de chaleur, la conduction thermique se produit à travers les parois solides qui séparent les fluides chauds et froids.
2. **Convection thermique** : C'est le transfert de chaleur d'un fluide à un autre par le biais du mouvement du fluide lui-même. La convection peut être de deux types :
 - Convection forcée : le mouvement du fluide est induit par des moyens externes tels que des pompes ou des ventilateurs.
 - Convection naturelle : le mouvement du fluide est généré naturellement par les différences de densité dues à la variation de température.
3. **Rayonnement thermique** : Il s'agit du transfert de chaleur par rayonnement électromagnétique. Tous les objets émettent et absorbent des radiations thermiques en fonction de leur température. Dans un échangeur de chaleur, le rayonnement thermique peut jouer un rôle mineur par rapport à la conduction et à la convection, mais il peut être significatif dans les applications à haute température.

Ces trois modes de transfert de chaleur peuvent coexister dans un échangeur de chaleur, et leur importance respective dépend des propriétés des fluides, de la géométrie de l'échangeur et des conditions de fonctionnement

Critères de classification des échangeurs de chaleur :

Plusieurs critères de classification sont utilisés pour catégoriser les échangeurs de chaleur, et les critères les plus significatifs sont énumérés ci-dessous :

- **Classification selon la technologie :**

Les principaux types d'échangeurs rencontrés sont les suivants :

- o A tubes : monotubes, coaxiaux ou multitubulaires ;
- o A plaques : à surface primaire ou à surface secondaire ;
- o Autres types : contact direct, à caloducs ou à lit fluidisé.

➤ **Classification selon le mode de transfert de chaleur :**

Les trois modes de transfert de chaleur (conduction, convection, rayonnement) sont couplés dans la plupart des applications (chambre de combustion, récupération sur les fumées, etc.) ; il y a souvent un mode de transfert prédominant. Pour tout échangeur avec transfert de chaleur à travers une paroi, la conduction intervient.

➤ **Classification suivant le procédé de transfert de chaleur :**

Le passage des fluides à travers l'échangeur peut se produire avec ou sans changement de phase, ce qui conduit à des écoulements monophasiques ou diphasiques. Voici les différents cas possibles :

- Les deux fluides ont un écoulement monophasique, c'est-à-dire qu'ils restent dans le même état (gaz ou liquide) tout au long du processus.

Chapitre 1 : Généralités sur les échangeurs de chaleur

- Un seul fluide a un écoulement avec changement de phase, ce qui se produit par exemple dans les évaporateurs ou les condenseurs, où le fluide change d'état entre liquide et gaz.
- Les deux fluides ont un écoulement avec changement de phase, ce qui se produit dans les évapo-condenseurs, où les deux fluides subissent un changement d'état.

Ces différents cas d'écoulement influencent la manière dont la chaleur est transférée et nécessitent des considérations spécifiques lors de la conception et du fonctionnement des échangeurs de chaleur.

➤ **Classification suivant la nature du matériau de la paroi d'échange :**

On retiendra deux types de parois :

- o Les échangeurs métalliques en acier, cuivre, aluminium ou matériaux spéciaux : superalliages, métaux ou alliages réfractaires ;
- o Les échangeurs non métalliques en plastique, céramique, graphite, verre, etc.

Principaux types d'échangeur de chaleur :

Il est possible de classer les échangeurs de chaleur en trois grandes familles, qui sont énumérées ci-dessous :

1. Les échangeurs par mélange ou à contact direct :

- Ces échangeurs permettent un mélange intime des fluides.
- Exemples : désurchauffeurs de vapeur, dégazeurs, tours de refroidissement à convection naturelle ou forcée, ballons de détente de purges.

2. Les régénérateurs ou échangeurs discontinus :

- Dans ces échangeurs, la surface d'échange est alternativement mise en contact avec le fluide froid et le fluide chaud.
- Exemple : réchauffeurs d'air rotatifs

3. Les échangeurs continus :

- Les deux fluides circulent de manière continue de part et d'autre de la surface d'échange.
- Exemples : échangeurs tubulaires, échangeurs à plaques, échangeurs à ailettes.

Dans le contexte qui suit, nous nous concentrons uniquement sur les échangeurs continus composés d'échangeurs tubulaires, à plaques ou à ailettes.

I.5.1. Echangeurs tubulaires :

Un échangeur tubulaire simple est composé de deux tubes cylindriques qui sont alignés l'un à l'intérieur de l'autre de manière coaxiale. Un fluide, généralement le fluide chaud, circule à l'intérieur du tube intérieur, tandis que l'autre fluide circule dans l'espace entre les deux tubes. Le transfert de chaleur du fluide chaud vers le fluide froid se fait à travers la paroi du tube intérieur.

Ces échangeurs tubulaires sont constitués de tubes dont la paroi agit comme surface d'échange thermique. Ils peuvent être composés soit d'un seul tube en forme de serpentin, soit de deux tubes coaxiaux formant des échangeurs bitubes, ou encore d'un faisceau de tubes enfermé dans une enveloppe appelée calandre.

a. Echangeurs << double-tubes >> :

Les échangeurs "double-tubes" sont une configuration courante d'échangeurs de chaleur tubulaires. Ils consistent en deux tubes cylindriques coaxiaux, où le fluide chaud circule à l'intérieur du tube intérieur et le fluide froid circule à l'extérieur du tube extérieur. Le transfert de chaleur s'effectue à travers la paroi du tube intérieur, permettant l'échange thermique entre les deux fluides.

Cette conception présente plusieurs avantages, notamment une bonne efficacité de transfert de chaleur due à la grande surface d'échange offerte par les deux tubes. De plus, elle permet une séparation physique entre les deux fluides, ce qui est souvent nécessaire lorsque les fluides sont incompatibles ou présentent des risques de contamination mutuelle.

Les échangeurs "double-tubes" sont largement utilisés dans de nombreuses applications industrielles, telles que les systèmes de chauffage, de climatisation, les systèmes de réfrigération, ainsi que dans les industries chimiques et pétrolières.

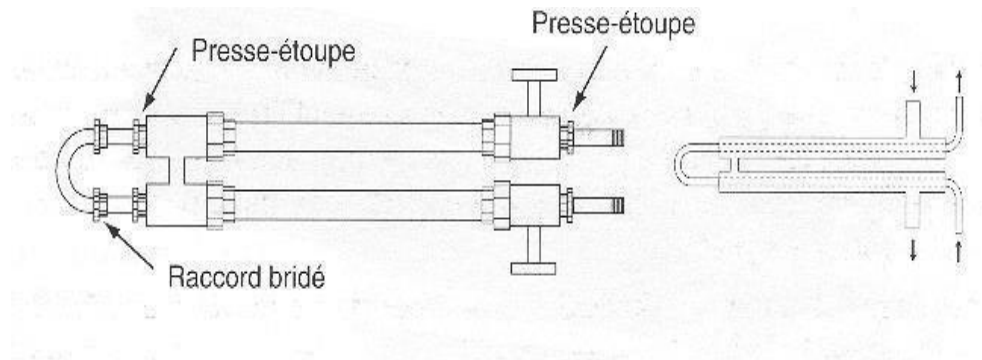


Fig. I.3. Schéma d'un échangeur bitube

Chapitre 1 : Généralités sur les échangeurs de chaleur

b. Echangeurs à faisceau tubulaires :

En ce qui concerne les échangeurs de chaleur à faisceau de tubes et calandre, il existe différentes configurations courantes, notamment le faisceau rectiligne et le faisceau en U. Le faisceau en U est particulièrement adapté aux forts gradients de température car il permet une dilatation libre des tubes. L'ajout de chicanes transversales dans la calandre permet d'augmenter le trajet du fluide et d'améliorer le flux de chaleur échangé.

Il n'y a pas de règles générales pour déterminer la disposition relative des circuits chaud et froid dans ces échangeurs. En général, le fluide chaud circulera à travers les tubes si l'objectif est de limiter les pertes thermiques, ou si le fluide est agressif. Les matériaux couramment utilisés pour les tubes sont principalement des métaux tels que l'acier et le laiton. Les céramiques sont également utilisées dans les applications à haute température. Les tubes en plastique, généralement de petit diamètre, sont également employés, soit sous forme de faisceaux, soit intégrés dans des plaques minces qui leur servent de renfort.

2

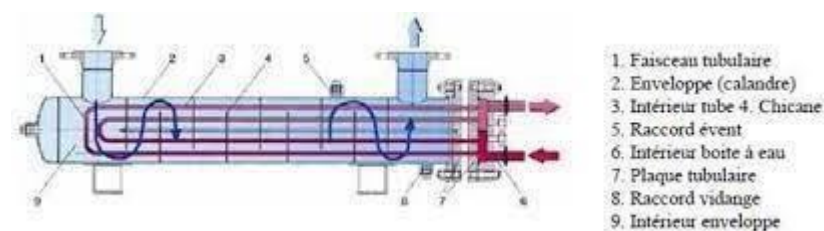


Fig.I.4. Schéma d'un échangeur à faisceau tubulaire

c. Echangeur monotube :

En ce qui concerne les échangeurs de chaleur à faisceau de tubes et calandre, il existe différentes configurations courantes, notamment le faisceau rectiligne et le faisceau en U. Le faisceau en U est particulièrement adapté aux forts gradients de température car il permet une dilatation libre des tubes. L'ajout de chicanes transversales dans la

calandre permet d'augmenter le trajet du fluide et d'améliorer le flux de chaleuréchangé.

Il n'y a pas de règles générales pour déterminer la disposition relative des circuits chaud et froid dans ces échangeurs. En général, le fluide chaud circulera à travers les tubes si l'objectif est de limiter les pertes thermiques, ou si le fluide est agressif. Les matériaux couramment utilisés pour les tubes sont principalement des métaux tels que l'acier et le laiton. Les céramiques sont également utilisées dans les applications à haute température. Les tubes en plastique, généralement de petit diamètre, sont également employés, soit sous forme de faisceaux, soit intégrés dans des plaques minces qui leur servent de renfort.

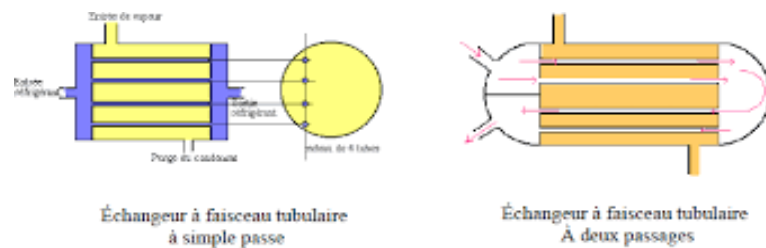


Fig. I.5.Schéma d'un échangeur monotube

Chapitre 1 : Généralités sur les échangeurs de chaleur

I .5.2.Echangeur à plaque :

Les échangeurs à plaques sont composés de plaques formées qui comportent des alvéoles servant de chemins pour les fluides. Les plaques sont assemblées de manière à permettre la circulation des fluides entre elles. La répartition des fluides entre les plaques est assurée par des joints, de sorte que chaque fluide passe alternativement entre deux espaces inter plaques successifs.

Cela permet aux fluides d'échanger de la chaleur à travers les plaques. L'avantage principal de ce type d'échangeur est sa compacité. En effet, il offre une grande surface d'échange dans un volume limité, ce qui le rend particulièrement utile pour les applications nécessitant des puissances importantes.

Grâce à leur conception en plaques, ces échangeurs permettent un transfert de chaleur efficace tout en occupant moins d'espace par rapport à d'autres types d'échangeurs. Ils sont largement utilisés dans de nombreux domaines tels que les systèmes de climatisation, les systèmes de chauffage, les applications industrielles et les procédés de refroidissement.

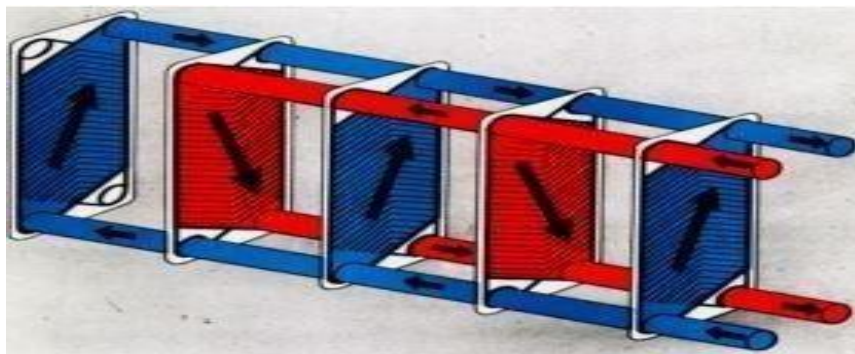


Fig. I.6. Echangeurs à plaques

I .5.3.Les échangeurs de chaleur à ailettes :

Les échangeurs de chaleur à ailettes sont utilisés lorsque des performances de transfert de chaleur élevées sont requises. Les ailettes augmentent la surface disponible pour le transfert de chaleur, ce qui améliore l'efficacité de l'échange thermique entre les fluides.

Ces échangeurs sont couramment utilisés dans les applications nécessitant des échanges thermiques intensifs, tels que les systèmes de refroidissement, les radiateurs de véhicules, les échangeurs de chaleur pour les processus industriels, les systèmes de climatisation et les sècheurs industriels.

La conception des échangeurs de chaleur à ailettes peut varier en fonction des besoins spécifiques de l'application, notamment la forme, la densité et la configuration des ailettes. Cette configuration permet une meilleure conduction thermique et une augmentation de la surface d'échange, facilitant ainsi le transfert de chaleur entre les fluides.

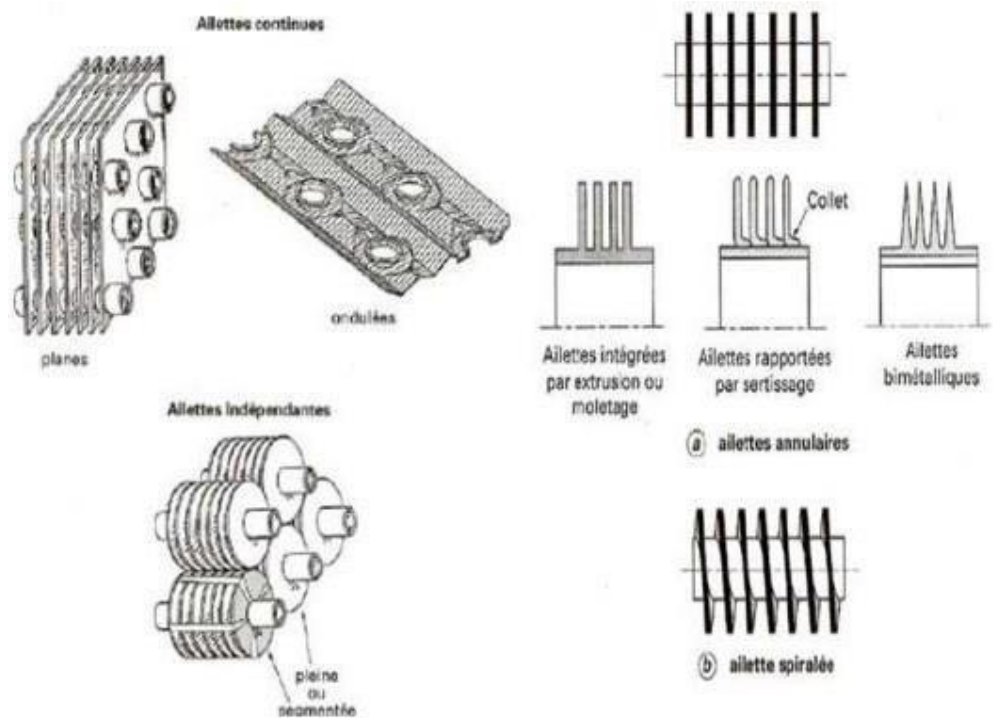


Fig. I.7. Schéma d'un échangeur à ailette

Chapitre 1 : Généralités sur les échangeurs de chaleur

I .5.4. Les échangeurs à changement de phase :

Les échangeurs à changement de phase sont des échangeurs qui changent l'état physique du fluide. Ils sont au nombre de deux : le condenseur et l'évaporateur et sont dans la plupart des cas des échangeurs tubulaire

a. Condenseur :

Dans la plupart des cas, les condenseurs sont des dispositifs basés sur la configuration des faisceaux tubulaires. Ils sont construits selon les mêmes plans que les échangeurs de chaleur, ce qui signifie que toutes les caractéristiques géométriques de ces derniers sont également applicables.

Un condenseur est un type d'échangeur de chaleur où le fluide frigorigène cède la chaleur générée lors du changement de phase (la condensation) au fluide chargé d'évacuer cette chaleur. Le fluide destiné à évacuer la chaleur peut être de l'air ou de l'eau.

La conception du condenseur est similaire à celle des échangeurs de chaleur, mais son objectif principal est de permettre la condensation du fluide frigorigène en transférant la chaleur latente à un fluide externe. Cela permet de convertir le fluide frigorigène de l'état gazeux à l'état liquide, tout en transférant efficacement la chaleur à un autre fluide, qu'il s'agisse de l'air ambiant ou de l'eau.

Les condenseurs sont couramment utilisés dans de nombreux systèmes de climatisation, de réfrigération et de production d'énergie, où la condensation du fluide frigorigène est essentielle pour le fonctionnement efficace du système.

Le condenseur à air :

Le fluide frigorigène parcourt un tube en serpentin balayé par le flux d'air de refroidissement. L'échange de chaleur par convection étant limité :

- o Le tube est muni d'ailettes qui en augmentent la surface d'échange ;
- o Le flux d'air est pulsé par un ventilateur qui crée un écoulement turbulent favorable à la convection

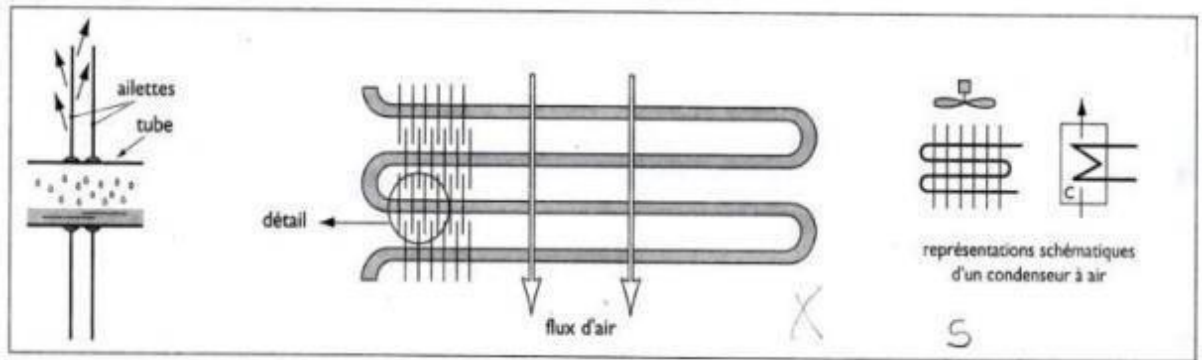


Figure I.8: condenseur à air

Les condenseurs à air sont disponibles dans une large plage de puissance, allant de quelques kilowatts à plusieurs centaines de kilowatts. Cependant, il convient de noter que l'installation de ces appareils peut être limitée en raison de leur niveau sonore élevé, en particulier lorsqu'il y a une préoccupation pour le voisinage.

Le condenseur à eau :

Le transfert de chaleur s'effectue entre deux tubes concentriques dans lesquels circulent les fluides. Le fluide frigorigène passe à travers le tube intérieur, tandis que l'eau de refroidissement circule à travers le tube extérieur. Pour minimiser l'encombrement, les deux tubes sont enroulés en spirale. Ainsi, l'échangeur de chaleur est conçu de manière compacte et efficace.

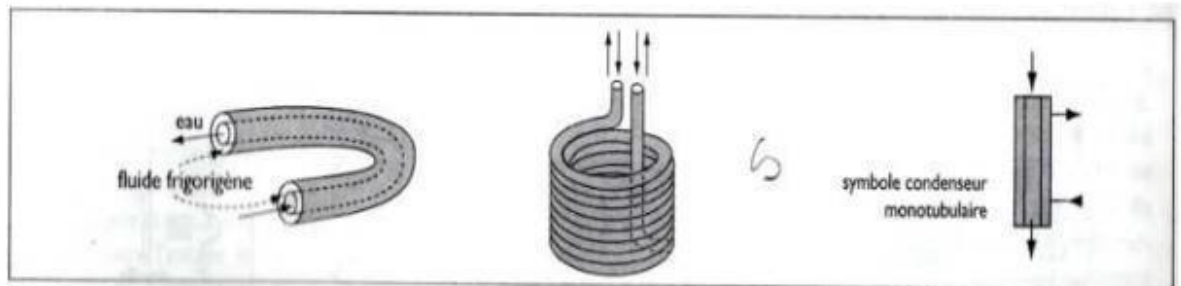


Figure I.9: condenseur à tubes concentriques

Dans le condenseur par le changement d'état du fluide frigorigène peut être :

- o De l'eau perdue en provenance d'une distribution publique ; c'est une solution coûteuse applicable à de petits appareils (quelques kW), qui est prescrite dans les régions à faible ressource en eau ;
- o De l'eau recyclée qui cède la chaleur transmise : dans un aérorefrigérant, aussi appelé tour de refroidissement, fonctionnant en circuit ouvert ou en circuit fermé, ou un échangeur sec (dry-cooler).

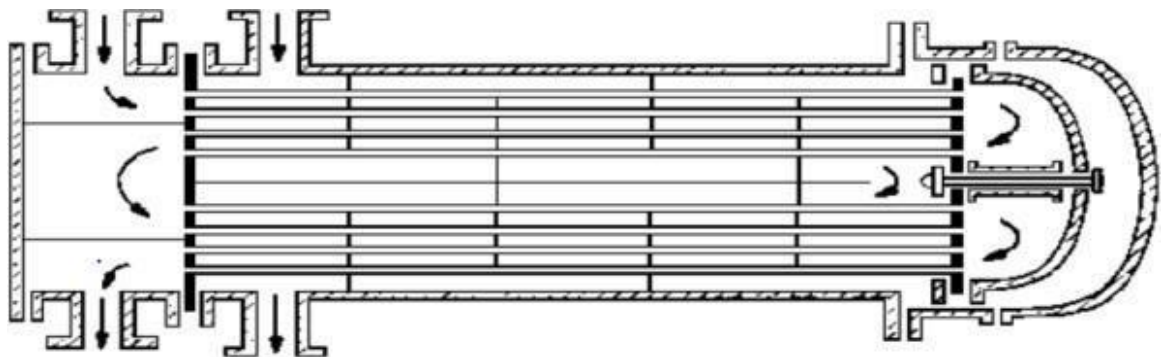


Figure I.10. : Condenseur multitubulaire

- **Circuit ouvert :**

Le système de refroidissement est un circuit ouvert qui permet à l'air de communiquer avec lui. L'eau est pulvérisée sur le corps d'échange depuis la partie supérieure de l'aéro réfrigérant, où elle s'écoule et transfère sa chaleur sensible au flux d'air ascendant. Une partie de l'eau s'évapore, ce qui contribue à abaisser la température en absorbant la chaleur latente de vaporisation. Cependant, ce système présente l'inconvénient de permettre aux impuretés de l'air de contaminer le circuit de refroidissement, qui est également sujet à une corrosion importante.

- **Circuit fermé :**

Le circuit de refroidissement est hermétique et n'interagit pas avec l'air environnant (circuit fermé). Ce circuit passe à travers un ensemble de tubes qui sont exposés au ruissellement d'un deuxième circuit. Cette configuration améliore l'échange de chaleur en permettant l'évaporation d'une partie du débit recyclé. Cependant, la présence de ce faisceau de tubes réduit l'efficacité du système par rapport à un fonctionnement en circuit ouvert, car il crée un écart de température entre l'air et le circuit de refroidissement.

b. L'évaporateur :

C'est également un échangeur de chaleur qui prélève la chaleur véhiculée par le fluide à traiter, pour donner, après transfert au fluide frigorigène, la vaporisation de ce dernier. Il existe des évaporateurs à air et à eau.

Évaporateur à air :

Pour les faibles puissances, le circuit de refroidissement est formé d'un tube en serpentin, tandis que pour les puissances plus élevées, il est composé d'une batterie de tubes connectés à des collecteurs. Les tubes sont disposés en quinconce en couches successives. Des ailettes sont présentes pour favoriser l'échange de chaleur et permettre l'écoulement de l'eau produite par la condensation de la vapeur d'eau présente dans l'air à traiter.

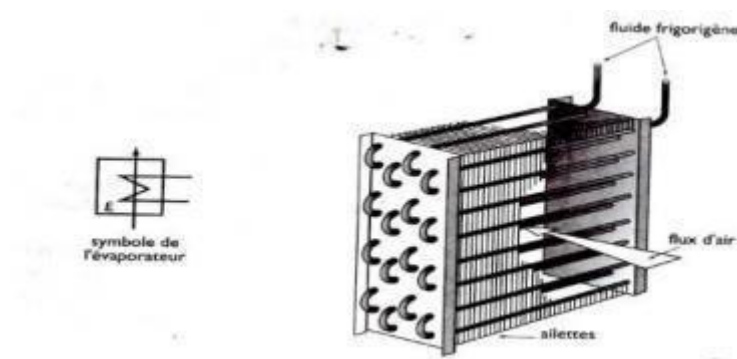


Figure I.11.: Evaporateur à air de faible puissance

Evaporateur à eau :

Il est du type à faisceau tubulaire, parcouru :

- o Soit par le fluide frigorigène ; dans ce cas le fluide à traiter circule dans l'enveloppe ;
- o Soit par le fluide à traiter ; dans ce cas le fluide frigorigène circule dans l'enveloppe.

I.6. Caractéristiques géométriques des écoulements

Avant d'aborder les méthodes et les modèles de calcul, il est essentiel de fournir un bref aperçu des principales configurations géométriques utilisées dans la conception des échangeurs de chaleur, car elles influencent naturellement la nature des flux et le calcul des transferts thermiques.

Chapitre 1 : Généralités sur les échangeurs de chaleur

I.6.1. Disposition des écoulements :

Dans les échangeurs à fluides séparés, les modes de circulation des fluides peuvent être regroupés en deux grandes catégories :

- . Soit les vecteurs de vitesse des écoulements sont approximativement parallèles ou de même sens, ce qui est appelé un écoulement "co-courant".
- . Soit les vecteurs de vitesse sont en sens contraire, ce qui est appelé un écoulement "contre-courant".
- . Soit les vecteurs de vitesse sont en moyenne perpendiculaires les uns aux autres, ce qui est appelé des "courants croisés".

Dans le cas des courants croisés, l'un des fluides peut être "brassé" ou mélangé, ce qui signifie que sa veine est subdivisée en plusieurs chemins qui se croisent (par exemple, lorsque l'écoulement est perpendiculaire à un faisceau de tubes). Le brassage a pour effet d'uniformiser les températures et d'augmenter le transfert de chaleur.

En pratique, il n'est pas toujours évident de déterminer précisément quelle configuration est présente. Par conséquent, pour effectuer une première estimation, on se réfère à la configuration qui semble la plus proche du cas étudié.

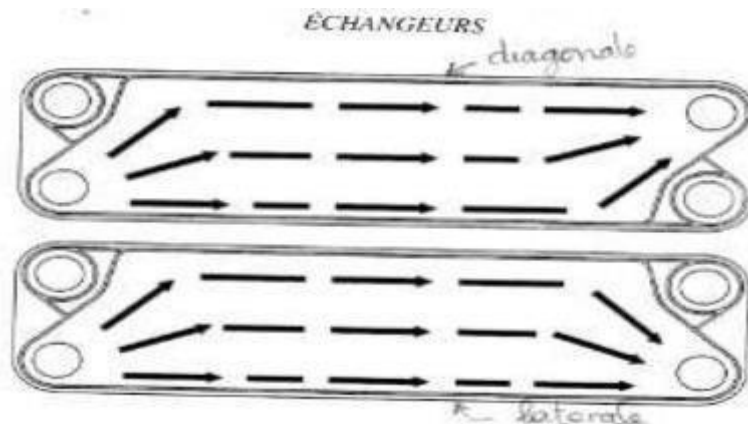


Fig. I.12. Echangeur à plaques : a- circulation diagonale

b- circulation latérale (d'après C.Roussel)

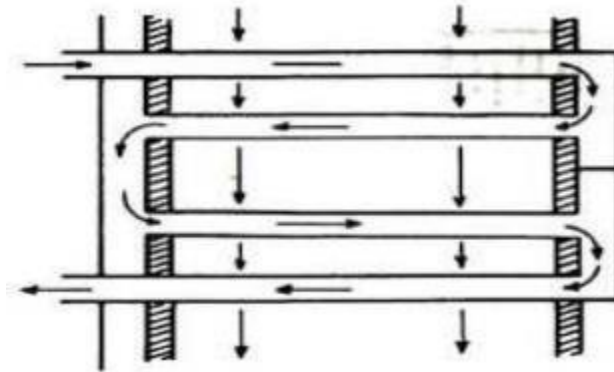


Fig. I.13. : Schéma d'échangeur tubulaire à courants croisés

1. Aspect structurels dans la conception des échangeurs :

Il existe une grande diversité de géométries pour les échangeurs de chaleur, chacune entraînant parfois des circulations complexes pour les deux flux de fluides. Cependant, il existe quelques cas simples qui servent de référence :

1. Échangeur à flux parallèles en co-courant : les flux des deux fluides circulent dans la même direction.
2. Échangeur à flux parallèles en contre-courant : les flux des deux fluides circulent en sens opposés.
3. Échangeur à courant croisé : les vecteurs de vitesse des deux fluides sont en moyenne perpendiculaires les uns aux autres.

Il est important de mentionner les deux structures fondamentales qui servent de base à la conception des échangeurs, sans entrer dans des considérations technologiques trop approfondies : la structure "à modules" et la structure "à passes".

a. Echangeurs à modules :

Un échangeur à modules est constitué de plusieurs cellules élémentaires identiques, et il se caractérise donc par une périodicité géométrique. On peut alors se limiter à l'étude d'une seule cellule, [assemblage de plusieurs modules permettant de reconstituer tout l'appareil.

Chapitre 1 : Généralités sur les échangeurs de chaleur

Parmi les principaux modèles d'échangeurs modulaires, citons les appareils à méandres. Les appareils à faisceau de tubes et chicanes, les appareils à spirales et les échangeurs à plaques.

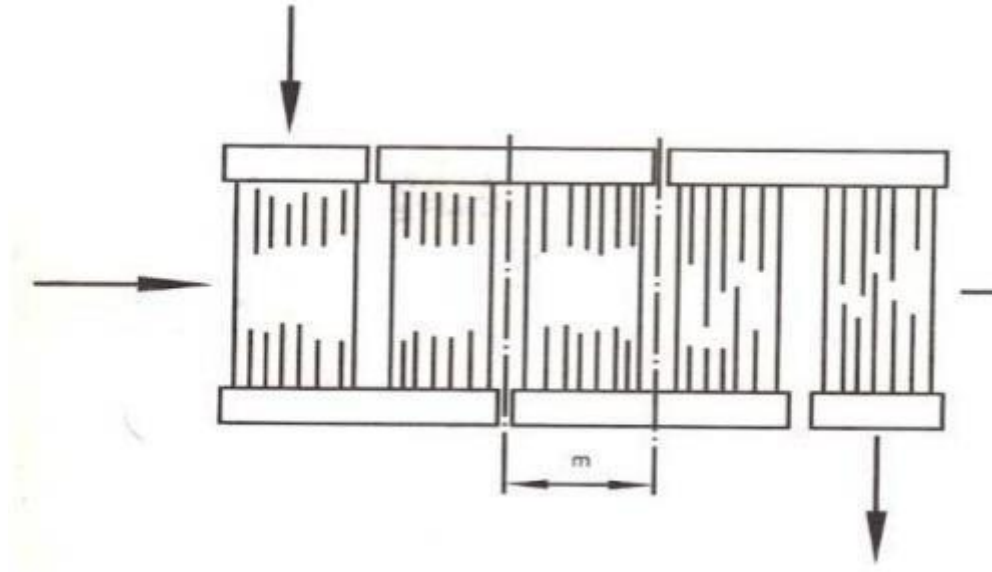


Fig. I.14. Schéma d'un échangeur à méandres a 5 modules

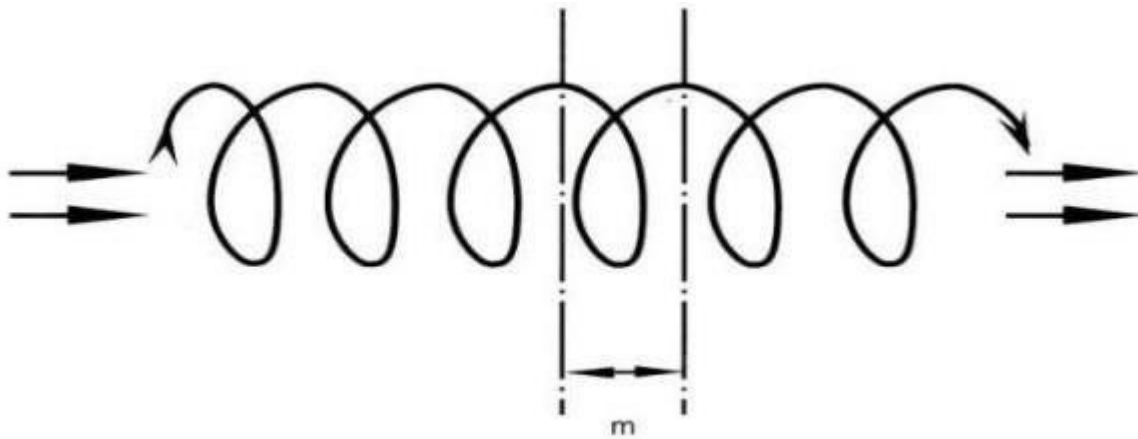


Fig. I.15. : Echangeur à tube en spirale

b. Echangeurs à passes :

Une "passe" désigne le passage d'un fluide à travers l'échangeur de chaleur. Parmi les échangeurs à passes, la famille la plus courante comprend les modèles de type P-N. Ces appareils sont généralement constitués d'un faisceau de tubes et d'une calandre, où chacun des deux fluides traverse une ou plusieurs fois le volume d'échange. Le fluide circulant dans la calandre, à l'extérieur des tubes, effectue P passages à travers le volume d'échange, tandis que le fluide à l'intérieur des tubes effectue N passages (ce qui correspond à $N/2$ allers-retours). On dit alors que l'échangeur a P passes du côté de la calandre et N passes du côté des tubes. À titre d'exemple, le schéma suivant représente un échangeur de chaleur de type 2-4.

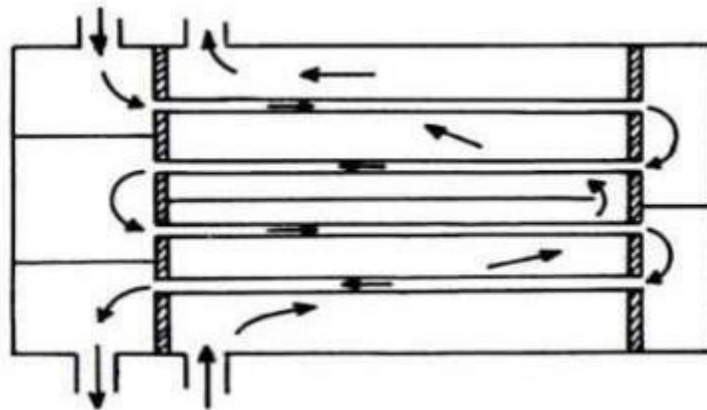


Fig. I.16. : Exemple d'échangeur P-N : P= 2, N= 4 (d'après A.Bouvenot)

Chapitre 1 : Généralités sur les échangeurs de chaleur

Le modèle P-N le plus courant est l'échangeur 1-N : le fluide situé coté calandre ne traverse celle-ci qu'une fois, tandis que le fluide qui circule dans les tubes la traverse N fois.

La notion de passe s'applique également à d'autres modèles, et en particulier aux échangeurs à plaques dans lesquels on rencontre des configurations mono passes (avec distribution en U ou en Z) ou multi passes. Du point de vue thermique, on notera que la distribution en U est meilleure que la distribution en Z.

a- distribution en U ; b- distribution en Z (d'après C.Roussel)

La distinction entre passes et modules peut parfois être subtile, mais ces deux concepts sont néanmoins utiles pour simplifier certains calculs. Les échangeurs modulaires et les échangeurs de type P-N relèvent de conceptions différentes, comme le montrent les exemples précédents. Par exemple, un échangeur à modules peut être de type P-N, tel qu'un échangeur tubulaire à chicanes, mais ce n'est pas une caractéristique systématique. De même, un échangeur de type P-N n'est pas nécessairement constitué de modules identiques. Il peut parfois y avoir un chevauchement entre les passes et les modules.

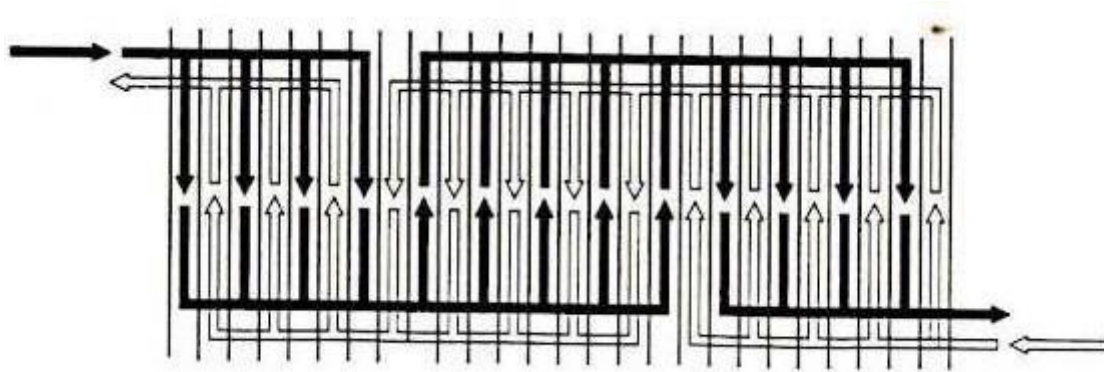


Fig. I.18. : Echangeur à plaques : exemple de distribution à 3 passes sur chaque fluide (d'après C.Roussel)

I.7. Les chicanes :

Les chicanes des échangeurs de chaleur sont des dispositifs utilisés dans les échangeurs de chaleur pour améliorer l'efficacité de transfert de chaleur entre deux fluides, généralement un fluide chaud et un fluide froid. Ces chicanes, également appelées ailettes, turbulateurs ou éléments de transfert de chaleur, sont des structures internes conçues pour perturber le flux des fluides, augmenter la turbulence et ainsi favoriser un transfert de chaleur plus efficace. Voici quelques-unes de leurs principales fonctions et avantages :

1. Augmentation de la surface de transfert de chaleur : Les chicanes sont généralement constituées de plaques, de tubes, d'ailettes ou d'autres structures qui augmentent la surface disponible pour le transfert de chaleur entre les fluides. Cela permet d'augmenter la capacité de l'échangeur de chaleur.
2. Amélioration de la turbulence : Les chicanes perturbent le flux des fluides, ce qui entraîne une augmentation de la turbulence. La turbulence favorise un mélange plus efficace des fluides, ce qui accroît le transfert de chaleur.

Chapitre 1 : Généralités sur les échangeurs de chaleur

3. Réduction des gradients de température : Les chicanes aident à réduire les gradients de température entre les deux fluides, ce qui signifie que le fluide froid peut absorber plus de chaleur du fluide chaud.

4. Prévention de l'encrassement : Les échangeurs de chaleur sont souvent sujets à l'encrassement, c'est-à-dire à l'accumulation de dépôts ou de particules qui peuvent réduire leur efficacité. Les chicanes peuvent contribuer à réduire l'encrassement en perturbant les zones où les dépôts ont tendance à s'accumuler.

5. Réduction de l'encombrement : Dans certains cas, l'utilisation de chicanes permet de concevoir des échangeurs de chaleur plus compacts, car elles permettent d'obtenir une performance de transfert de chaleur élevée dans un espace restreint.

6. Amélioration de l'efficacité énergétique : En augmentant l'efficacité du transfert de chaleur, les chicanes peuvent contribuer à réduire la consommation d'énergie nécessaire pour chauffer ou refroidir un fluide, ce qui peut avoir un impact positif sur l'efficacité énergétique globale d'un système.

Les chicanes sont couramment utilisées dans une variété d'applications, notamment dans l'industrie chimique, pétrolière, alimentaire, et dans les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation. Leur conception et leur utilisation dépendent des exigences spécifiques de chaque application, notamment des températures, des débits de fluides, des propriétés thermiques des fluides, etc.

1.7.1. La disposition des chicanes :

La disposition des chicanes dans un échangeur de chaleur est un aspect crucial de sa conception, car elle influe directement sur l'efficacité du transfert de chaleur et sur les performances globales de l'échangeur. La disposition des chicanes dépendra des objectifs spécifiques de conception et des caractéristiques du fluide de travail. Voici quelques dispositions couramment utilisées :

Chapitre 1 : Généralités sur les échangeurs de chaleur

1. Disposition en rangées parallèles :

- Les chicanes sont placées dans des rangées parallèles, généralement alignées horizontalement ou verticalement à l'intérieur de l'échangeur de chaleur.
- Cette disposition est couramment utilisée dans les échangeurs de chaleur à tubes et ailettes, où les tubes sont alignés en parallèle, et les chicanes sont insérées entre les rangées de tubes.
- Elle favorise un transfert de chaleur efficace tout en minimisant la perte de charge.

2. Disposition en rangées croisées :

- Les chicanes sont disposées de manière à croiser les flux de fluides chauds et froids à l'intérieur de l'échangeur de chaleur.
- Cette disposition est souvent utilisée pour améliorer l'efficacité du transfert de chaleur, car elle oblige les fluides à se croiser, créant ainsi une turbulence accrue et une meilleure homogénéisation de la température.
- Elle est couramment utilisée dans les échangeurs de chaleur à plaques et les échangeurs de chaleur à coque et tubes.

3. Disposition en spirale ou hélicoïdale :

- Les chicanes sont disposées de manière hélicoïdale à l'intérieur de l'échangeur de chaleur.
- Cette disposition est utilisée pour maximiser le contact entre les fluides chauds et froids, créant ainsi une turbulence élevée et une grande surface de transfert de chaleur.
- Elle est particulièrement efficace dans les échangeurs de chaleur à plaques et les échangeurs de chaleur tubulaires compacts.

4. Disposition coudée ou en zigzag :

Chapitre 1 : Généralités sur les échangeurs de chaleur

- Les chicanes sont disposées de manière à créer des angles droits ou des motifs en zigzag dans l'échangeur de chaleur.
- Cette disposition est utilisée pour augmenter la turbulence et favoriser le mélange des fluides.
- Elle est couramment utilisée dans les échangeurs de chaleur à tubes.

La disposition des chicanes est étroitement liée à la géométrie de l'échangeur de chaleur, aux caractéristiques des fluides en circulation, aux objectifs de performance thermique et à d'autres contraintes spécifiques à l'application. Une conception appropriée des chicanes peut contribuer de manière significative à l'efficacité globale de l'échangeur de chaleur, en optimisant le transfert de chaleur tout en minimisant la perte de charge.

Les méthodes de calcul des échangeurs de chaleur :

Il existe plusieurs méthodes de calcul pour évaluer les performances d'un échangeur de chaleur. Voici quelques-unes des méthodes couramment utilisées :

Méthode de la log-mean temperature difference (LMTD) :

La méthode de la différence logarithmique des températures moyennes (LMTD - Log-Mean Temperature Difference) est une méthode couramment utilisée pour calculer les performances d'un échangeur de chaleur, en particulier pour les échangeurs à contre-courant et à co-courant. Elle permet de déterminer la capacité de transfert thermique et la surface d'échange nécessaire.

La méthode LMTD repose sur l'hypothèse que la différence logarithmique des températures moyennes entre les fluides chauds et froids le long de l'échangeur reste constante. Cette hypothèse est valide lorsque les variations de température le long de l'échangeur sont suffisamment faibles.

Chapitre 1 : Généralités sur les échangeurs de chaleur

Voici les étapes de base pour utiliser la méthode LMTD :

1. Déterminer les températures d'entrée et de sortie des fluides chaud et froid.
2. Calculer la différence de température logarithmique (ΔT_{lm}) à partir des températures d'entrée et de sortie des fluides :

$$\Delta T_{lm} = ((\Delta T_1 - \Delta T_2) / \ln(\Delta T_1 / \Delta T_2))$$

Où ΔT_1 est la différence de température entre les températures d'entrée des fluides et ΔT_2 est la différence de température entre les températures de sortie des fluides.

3. Calculer la surface d'échange (A) requise pour le transfert thermique à l'aide de l'équation de transfert thermique :

$$Q = U * A * \Delta T_{lm}$$

Où Q est le transfert thermique recherché, U est le coefficient global de transfert de chaleur et ΔT_{lm} est la différence de température logarithmique.

La méthode LMTD permet de déterminer la surface d'échange requise pour un transfert thermique donné. Elle est largement utilisée dans le dimensionnement et la conception des échangeurs de chaleur. Cependant, il convient de noter que cette méthode présente certaines limitations et qu'elle peut nécessiter des ajustements ou des corrections pour des cas particuliers, tels que les échangeurs à plusieurs passes ou les échangeurs avec des variations significatives de température.

Méthode de l'efficacité de l'échangeur de chaleur :

La méthode de l'efficacité de l'échangeur de chaleur est une méthode utilisée pour évaluer les performances globales d'un échangeur de chaleur. Elle permet de prendre en compte les températures d'entrée et de sortie des fluides, ainsi que les propriétés thermiques des fluides et de l'échangeur lui-même.

Chapitre 1 : Généralités sur les échangeurs de chaleur

L'efficacité de l'échangeur de chaleur est définie comme le rapport entre la quantité réelle de chaleur transférée (Q réelle) et la quantité maximale de chaleur transférable (Q max) dans l'échangeur. Elle est généralement exprimée en pourcentage.

La méthode de l'efficacité de l'échangeur de chaleur implique les étapes suivantes :

1. Déterminer les températures d'entrée (T_1 , T_2) et de sortie (T_3 , T_4) des fluides chaud et froid respectivement.
2. Calculer la quantité maximale de chaleur transférable (Q max) en utilisant les températures d'entrée des fluides et les propriétés thermiques des fluides.
3. Mesurer ou calculer la quantité réelle de chaleur transférée (Q réelle) à l'aide de données expérimentales ou de modèles de calcul appropriés.
4. Calculer l'efficacité de l'échangeur de chaleur (ϵ) en utilisant la formule :

$$\epsilon = (Q \text{ réelle} / Q \text{ max}) * 100$$

L'efficacité de l'échangeur de chaleur permet d'évaluer l'efficacité du transfert thermique dans l'échangeur, en prenant en compte les pertes et les inefficiences éventuelles. Une efficacité élevée indique un transfert de chaleur plus efficace et une performance améliorée de l'échangeur de chaleur.

Il est important de noter que la méthode de l'efficacité de l'échangeur de chaleur peut être adaptée en fonction des configurations spécifiques de l'échangeur, des propriétés des fluides et des conditions de fonctionnement. Elle est utilisée pour comparer différentes conceptions d'échangeurs de chaleur et pour optimiser leur performance.

Méthodes numériques :

Les méthodes numériques sont utilisées pour résoudre les équations de transfert de chaleur dans un échangeur de chaleur. Elles permettent de modéliser de manière détaillée les

Chapitre 1 : Généralités sur les échangeurs de chaleur

écoulements de fluides et les transferts thermiques à travers l'échangeur. Voici quelques-unes des méthodes numériques couramment utilisées :

1. Méthode des différences finies : Cette méthode consiste à discrétiser l'échangeur de chaleur en un maillage de points ou de cellules, puis à approximer les dérivées spatiales et temporelles des équations de transfert de chaleur par des différences finies. Les équations discrétisées sont résolues itérativement pour obtenir les températures et les flux de chaleur dans tout l'échangeur.

2. Méthode des éléments finis : Cette méthode repose sur la discrétisation de l'échangeur en éléments finis, tels que des triangles ou des tétraèdres pour des problèmes 2D et 3D respectivement. Les équations de transfert de chaleur sont formulées sous forme vibrationnelle, et les approximations des solutions sont recherchées dans un espace de fonctions de forme défini sur les éléments finis. Les équations discrétisées sont ensuite résolues pour obtenir les températures et les flux de chaleur.

3. Méthode des volumes finis : Cette méthode consiste à diviser l'échangeur en volumes de contrôle, sur lesquels les équations de transfert de chaleur sont discrétisées. Les flux de chaleur à travers les surfaces des volumes de contrôle sont évalués en utilisant des schémas de différences finies ou des approximations basées sur les flux. Les équations discrétisées sont résolues pour obtenir les températures et les flux de chaleur.

4. Méthode de Monte-Carlo : Cette méthode probabiliste est utilisée pour modéliser les transferts thermiques dans des échangeurs de chaleur complexes. Elle repose sur la génération d'échantillons aléatoires pour représenter le comportement stochastique des variables, telles que les propriétés thermiques des matériaux ou les conditions aux limites. Les transferts thermiques sont ensuite calculés en moyennant les résultats obtenus à partir de ces échantillons.

Ces méthodes numériques permettent d'obtenir des solutions précises et détaillées des problèmes de transfert de chaleur dans les échangeurs. Elles peuvent être implémentées à l'aide de logiciels de simulation thermique et nécessitent souvent des ressources informatiques significatives pour effectuer des calculs complexes.

Chapitre 1 : Généralités sur les échangeurs de chaleur

Méthode des pertes de charge :

La méthode des pertes de charge est utilisée pour évaluer les variations de pression à travers un système de conduites, notamment les échangeurs de chaleur. Elle permet de quantifier les résistances au passage des fluides et d'optimiser la conception en termes d'efficacité énergétique et de performances hydrauliques. Voici les principes clés de la méthode des pertes de charge :

1. Pertes de charge dans les conduites : Les pertes de charge sont dues aux frottements entre le fluide et les parois de la conduite. Elles sont généralement calculées en utilisant l'équation de Darcy-Weisbach ou l'équation de Hazen-Williams, qui tiennent compte des caractéristiques géométriques de la conduite, de la viscosité du fluide et du débit volumétrique. Les pertes de charge sont exprimées en termes de chute de pression le long de la conduite.

2. Pertes de charge dans les composants : Outre les conduites, les échangeurs de chaleur peuvent comporter divers composants tels que les coudes, les vannes, les rétrécissements ou les élargissements. Chacun de ces composants induit des pertes de charge supplémentaires. Des coefficients de perte de charge spécifiques à chaque composant sont utilisés pour évaluer ces pertes.

3. Pertes de charge totales : Les pertes de charge totales dans un échangeur de chaleur sont obtenues en combinant les pertes de charge dans les conduites et les composants. Ces pertes de charge sont ensuite comparées aux spécifications de pression, aux capacités de la pompe et aux contraintes opérationnelles pour garantir que le système fonctionne de manière optimale.

La méthode des pertes de charge permet d'évaluer l'efficacité hydraulique d'un échangeur de chaleur et d'optimiser sa conception. Elle est utilisée pour dimensionner les pompes, minimiser les pertes d'énergie et s'assurer que les fluides circulent de manière adéquate dans le système. Les logiciels de simulation hydraulique sont souvent utilisés pour faciliter ces calculs et prévoir les performances du système.

Chapitre 1 : Généralités sur les échangeurs de chaleur

Conclusion :

Les échangeurs de chaleur sont largement utilisés dans divers secteurs tels que l'industrie (chimie, pétrochimie, sidérurgie, agroalimentaire, production d'énergie, etc.), le transport (automobile, aéronautique) ainsi que dans le secteur résidentiel et tertiaire (chauffage, climatisation, etc.). Le choix d'un échangeur de chaleur pour une application spécifique dépend de plusieurs paramètres, tels que la plage de température et de pression des fluides, les propriétés physiques et l'agressivité de ces fluides, les exigences en termes de maintenance et d'encombrement. Il est évident qu'un échangeur de chaleur bien adapté, dimensionné correctement, réalisé avec soin et utilisé de manière appropriée, peut entraîner une amélioration significative de l'efficacité énergétique et du rendement des procédés.

Chapitre 2 : L'essai de dimensionnement d'un préchauffeur P30-GA-21-01 de l'unité de traitement brut sud.

Chapitre 2 : L'essai de dimensionnement d'un préchauffeur P30-GA-21-01 de l'unité de traitement brut sud.

II.1.Introduction :

L'étude d'un échangeur de chaleur permet de dimensionner un appareil fournissant un service thermique donné avec une surface d'échange et une géométrie optimums. En fait, il s'agit de mettre la disposition de l'utilisateur un échangeur qui soit le plus économique possible. Devant les contraintes d'ordre technologique (encombrement, normalisation,...) et économique, on est amené faire un compromis entre la puissance de pompage et le cout d'un échangeur.

Avant d'entamer notre étude sur les préchauffeurs P30-GA-21-01 A/B de l'unité UTBS nous allons développer théoriquement un échangeur à tête flottante, avec ces composants.

II .2.Partie calculs :

Le but de notre calcul concerne en premier lieu la vérification des performances de l'échangeur P30-GA-21-01A/B qui est de type faisceau calandre et qui a pour rôle : Le préchauffeur de la colonne de stabilisation est constitué de deux échangeurs de chaleur huile/huile avec leurs deux chambres (côté tubes) en série qui permettent de chauffer une partie ($\approx 80\%$) de l'huile provenant du dessaleur et d'obtenir la température requise pour l'alimentation chaude de la colonne. Le préchauffage est fourni par l'huile stabilisée (via le côté calandre des échangeurs), issue du fond de la colonne de stabilisation. La température en sortie du préchauffage de la colonne de stabilisation côté calandre est régulée par le contrôleur de température 21-TIC-0X101 (température de consigne de 120°C) qui agit en « split-range » sur les vannes 21-TV-0X101 A, en sortie huile chaude (côté calandre) du second échangeur en ligne (PX0-GA-21-01A), et 21-TV- 0X101 B agit elle, comme by- pass à l'arrivée huile chaude (côté calandre) du premier l'échangeur en ligne (PX0-GA-21-01 B).

II .2.1.Hypothèses simplificatrices :

Nous nous limitons dans notre étude au volet thermique du problème, en posant pour cela certaines hypothèses, à savoir :

- Le régime est permanent,
- Les propriétés thermo physiques des fluides sont constantes (dans l'intervalle de Température considéré),
- L'échangeur est adiabatique,
- Le transfert de chaleur s'effectue par convection et conduction,
- La seule surface d'échange est la surface de séparation des deux fluides (pas de Changement de phase).

Chapitre 2 : L'essai de dimensionnement d'un préchauffeur P30-GA-21-01 de l'unité de traitement brut sud.

II .2.2.Données et caractéristiques des échangeurs :

	Coté calandre	Coté tube
Fluide circulant	Brut stabilisé	Brut non stabilisé
Débit entrant (Kg/h)	M=539 081,1	m=454452,2
Température d'entrée (°C)	T _ε = 148.44	t _ε = 67.8
Température de sortie (°C)	T _s = 126.03	t _s = 92.8
Nombre de passes	02	04
Perte de charge (bar)	0,7	0,6
Densité a 15°	0,79	0,78
Chaleur spécifique a pression constante (Kj/Kg°C)	2,466	2,198
Facteur d'encrassement (m ² k° / w)	0 ,000 35	0,00035
Diamètre extérieur des tubes(m)	25,4 10 ⁻³	
Diamètre intérieur de la calandre (m)	1,2	
Nombre des tubes	1830	
Pas : triangulaire (m)	31,75 10 ⁻³	
Epaisseur des tubes (m)	2,77 10 ⁻³	
Longueur des tubes (m)	6,096	

Tableau. II .1 : caractéristiques design préchauffeurs (A et B) de chaleur et des fluides

Les propriétés physiques des deux fluides :

Les corrélations utilisées pour le calcul des propriétés physique des deux fluides sont représentés dans le tableau suivant :

Chapitre 2 : L'essai de dimensionnement d'un préchauffeur P30-GA-21-01 de l'unité de traitement brut sud.

propriétés physique	Corrélations	Condition d'utilisations
Densité	$d_4^T = d_4^{15} - \alpha \cdot (T_m - 15)$	T(c°) $\alpha = 0,00075 \quad d_4^{15} : 0,765 - 0,770$ $\alpha = 0,00075 \quad d_4^{15} : 0,785 - 0,795$ $\alpha = 0,00075 \quad d_4^{15} : 0,795 - 0,800$
Chaleur spécifique [9] (KJ/Kg°C)	Relation de Gragoe : $C_p = (0,388 + 0,00045 \cdot T_m \cdot 4,187 / (spgr60/60)^{0,5})$	32F° < T < 400F° 0,96 < spgr60/60 < 0,96
Viscosité dynamique [9] (kg/ms)	$\mu = A \cdot e^{B/T_m}$	T (K) Pour le brut A = 1,06 10 ⁻³ B = 15,003
Conductivité thermique [10] (W/m ² K)	$\lambda = 0,17 - (1,418 \cdot 10^{-4} \cdot T_m)$	T(K)

Tableau II .2 : corrélations utilisées pour le calcul des propriétés physique des deux fluides

CALCULS :

➤ Températures caloriques TC .t C :

$$T_c = T_2 + F_c(T_1 - T_2)$$

$$t_c = t_1 + F_c(t_2 - t_1)$$

Chapitre 2 : L'essai de dimensionnement d'un préchauffeur P30-GA-21-01 de l'unité de traitement brut sud.

D'après (le graphe N° 2 de l'annexe A), nous avons $F_c = 0,52$, et par conséquence $T_c = 131,83^\circ\text{C}$ et $t_c = 80,86^\circ\text{C}$

Calcul de ΔT_{LM} :

En utilisant les températures calorifiques calculées précédemment ainsi que la corrélation du tableau (II.2), et les annexes, les propriétés physiques des deux fluides :

-Le mode d'écoulement est contre-courant

Détermination des écarts de température

$$\Delta T_1 = T_1 - t_2 = 148,44 - 92,8 = 55,64^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_2 - t_1 = 126,03 - 67,8 = 58,23^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{55,64 - 58,23}{-0,051} = \boxed{50,78^\circ\text{C}}$$

(II.1)

Correction de ΔT_{LM} :

Facteur de correction FC :

Il faut introduire le facteur de correction, dans notre échangeur on a 1 passe côté calandre et 2 passes côté tube

$$\Delta T_{lm - corr} = F \times \Delta T_{LM} \quad (\text{II.2})$$

$$F = f(r, E)$$

$$\boxed{R = \frac{(T_1 - T_2)}{(t_2 - t_1)} = 0,87}$$

$$\boxed{E = \frac{(t_2 - t_1)}{(T_1 - t_1)} = 0,33}$$

Chapitre 2 : L'essai de dimensionnement d'un préchauffeur P30-GA-21-01 de l'unité de traitement brut sud.

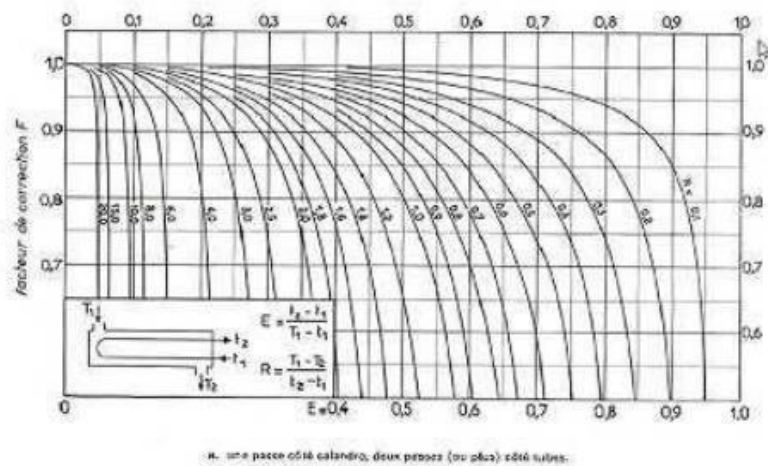


Figure II.1 : facteur de correction $F = f(r, e)$

D'après le graphe (Figure II.1) $FC = 0.98$

$$\Delta T_{lm - corr} = F \times \Delta T_{LM} = 50.89^\circ C$$

Calcul du flux thermique :

$$Q = M \cdot CP \cdot DT = 29791271,174166$$

$$DT = T_2 - T_1$$

-Calcul de coefficient de transfert sale :

$$A = 851 m^2$$

$$A = \frac{Q}{(U_s \cdot \Delta T_{LM}_c)} \text{ et } U_s = \frac{Q}{A \Delta T_{LM}_c} \quad U_s = 251,99 \text{ W}/.m^2.K$$

Chapitre 2 : L'essai de dimensionnement d'un préchauffeur P30-GA-21-01 de l'unité de traitement brut sud.

Définition	symboles	Expression	Valeur
Section de passage coté tube (m ²)	a _t	$a_t = \left(\frac{N_t}{n_t} \right) * \left(\frac{\pi d_i^2}{4} \right)$ avec $d_i = d_o - 2e$	0,142
Air de passage coté calandre (m ²)	a _c	$a_c = \left(\frac{D_c}{p} \right) * (p - d_o) * B$	0,17
Diamètre hydraulique relatif a l'écoulement a l'extérieur du faisceaux de tube (m ²)	D _c	$D_c = \left(\frac{4 * p^2}{\pi * d_o} \right) - d_o$	0,025

Tableau II.3: Valeur calculées des paramètres relatifs a la géométrie des échangeurs

Calcul des caractéristiques hydraulique de l'échangeur

Calcul du coefficient de transfert propre Up :

$$U_p = \left(\frac{h_{io} * h_o}{h_{io} + h_o} \right)$$

(II.3)

UP : coefficient d'échange propre (w/m² k)

h_{io} : Coefficient de film interne rapporté à la surface extérieure.

h_o : Coefficient de film externe.

A. côté faisceaux:

-Section par passe :

$$a_t = \left(\frac{N_t}{n_t} \right) * \left(\frac{\pi d_i^2}{4} \right) \quad a_t = 0,142 \text{ m}^2$$

- Vitesse massique G_t :

$$G_t = \frac{m}{a_t} \quad G_t = 826,06 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{h}$$

Chapitre 2 : L'essai de dimensionnement d'un préchauffeur P30-GA-21-01 de l'unité de traitement brut sud.

-Calcul du nombre de Reynolds (voir graphe N° 3) on tire les coefficients Jh et F :

$$Re = \frac{(d_i * G_t)}{\mu} \quad Re = 14938,4387$$

Selon le nombre de Reynolds et (voir graphe N° 3) on tire les coefficients Jh et F:

Jh : Fonction de transfert pour le brut, déterminée d'après le nombre de Reynolds.

F : facteur de correction.

Jh = 62,27 et F = 0,062

$$j_h = \left(\frac{h_i * d_i}{\lambda} \right) * \left(\frac{c_p * \mu}{\lambda} \right)^{\frac{1}{3}} * \Phi_t^{-1} j_h = 50 \text{ et } F = 0,05 \quad (\text{II.4})$$

$$\text{Donc } \left(\frac{h_i}{\Phi_t} \right) = j_h \left(\frac{\lambda}{d_i} \right) * \left(\frac{c_p * \mu}{\lambda} \right)^{\frac{1}{3}} = 790,125 \text{ w/m}^2\text{k.} \quad (\text{II.5})$$

$$\left(\frac{h_w}{\Phi_t} \right) = \left(\frac{h_i}{\phi_t} \right) \left(\frac{d_i}{d_o} \right) \left(\frac{h_{io}}{\Phi_i} \right) = 632,099 \text{ w/m}^2\text{k.}$$

B. côté calandre:

-Section par calandre

$$a_{ct} = \left(\frac{D_c}{p} \right) * (p - d_o) * B \quad a_{ct} = 0.17 \text{ m}^2.$$

(II.6)

-Vitesse massique Gt

$$G'_t = \left(\frac{M}{a_{ct}} \right) \quad G'_t = 729,28 \text{ Kg/m}^2\text{h.}$$

(II.7)

Chapitre 2 : L'essai de dimensionnement d'un préchauffeur P30-GA-21-01 de l'unité de traitement brut sud.

-Calcul du nombre de Reynolds

$$Re' = \left(\frac{D_e * G_t'}{\mu'} \right) \quad Re' = 20347,0262$$

-Calcul du diamètre (De)

$$D_e = \left(\frac{4 * p^2}{\pi * d_o} \right) - d_o \quad D_e = 0.025 \quad mRe' = 16575,3511$$

Selon le nombre de Reynolds s (voir annexe, graphe N° 4) on tire les coefficients

j_h' et F'

$$j_h' = \left(\frac{h_o * D_e}{\lambda'} \right) * \left(\frac{c_p * \mu'}{\lambda'} \right)^{\frac{1}{3}} * \Phi_c^{-1} \quad j_h' = 73 \quad \text{et} \quad F' = 0,073$$

Donc

$$\left(\frac{h_o}{\Phi_c} \right) = j_h' \left(\frac{\lambda'}{D_e} \right) * \left(\frac{c_p * \mu'}{\lambda'} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{h_o}{\Phi_c} \right) = 1425.35 \text{ w/m}^2\text{K}$$

(II.8)

- Calcul de la température de la paroi :

$$T_p = t_c - \frac{\frac{h_o}{\phi_c}}{\frac{h_o}{\phi_c} + \frac{h_{i0}}{\phi_s}} (T_c - t_c) \quad T_p = 110,78 \text{ } ^\circ\text{C}$$

(II.9)

Détermination des viscosités des fluides à la température T_p :

Chapitre 2 : L'essai de dimensionnement d'un préchauffeur P30-GA-21-01 de l'unité de traitement brut sud.

$$\mu_p = 0,00110224 \text{ Kg/msa } T_p = 110,78 \text{ } ^\circ\text{C}$$

μ_t et μ_t' :

$$\mu_t = 0,00109996 \text{ Kg/ms. } \mu_t' = 0,00110596 \text{ Kg/ms.}$$

$$\phi_t = \left(\frac{\mu}{\mu_p} \right)^{0,14} \quad \Phi_t = 0,99970985$$

$$\phi_c = \left(\frac{\mu'}{\mu_p} \right)^{0,14} \quad \Phi_c = 1,00047128$$

$$h_{io} = \left(\frac{h_o}{\Phi_t} \right) * \Phi_t \quad h_{io} = 632,397758 \text{ w/m}^2 \text{ K}$$

$$h_o = \left(\frac{h_o}{\Phi_c} \right) * \Phi_c \quad h_o = 898,245 \text{ w/m}^2 \text{ K}$$

$$U_p = \left(\frac{h_{io} * h_o}{(h_{io} + h_o)} \right) U_p = 371,117 \text{ w/ m}^2$$

o Calcul de la résistance d'encrassement :

La résistance d'encrassement se calcul au moyen du coefficient global de transfert de chaleur relative à la surface sale et propre calculée précédemment

$$R_d = \frac{U_p - U_s}{U_p U_s} \quad R_d = 0,0127 \text{ m}^2 \cdot \text{k/ w}$$

Chapitre 2 : L'essai de dimensionnement d'un préchauffeur P30-GA-21-01 de l'unité de traitement brut sud.

Calcul des pertes de charge :

a) Coté tube :

$$\Delta P_t = \frac{n_c \cdot n_t \cdot G_T^2}{3,75 \cdot 10^{12} \cdot spg(60/60)} \times \left[\frac{f_t \cdot l}{d_i \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_p}\right)^{0,14}} + 2 \right] \quad \text{Et} \quad \phi_t = \left(\frac{\mu}{\mu_p}\right)^{0,14}$$

$$d_i = d_o - 2e \quad \text{et} \quad f_t = 0,00280 + 0,250 \operatorname{Re}^{-0,32}$$

Nc : nombre de passes coté calandre 2

nt : nombre de passes coté tube 4

Gt: 628,400395 m/s

L: 6,096 m

ϕ : 1,00044625

Ft: Coefficient de friction

$$F_t = 0,00280 + 0,250 \operatorname{Re}^{-0,32}$$

$$\operatorname{Re} = 11367,768 \quad F_t = 0,00280 + 0,250 (11367,768)^{-0,32} = 0,01539285$$

$$\Delta P_t = \frac{4 \times 2 \times (628,400395)^2}{3,75 \cdot 10^{12} \times 0,7986} \times \left[\frac{0,01539285 \times 6,096}{1,00044625 \times 0,02} + 2 \right] = 1,3562 \cdot 10^{-5} \text{ pascal} = 1,3562 \text{ bar}$$

Chapitre 2 : L'essai de dimensionnement d'un préchauffeur P30-GA-21-01 de l'unité de traitement brut sud.

b) Coté calandre :

$$\Delta P_c = \frac{N_c \times f_c \times G_t'^2 \times (N_b + 1) \times D_i}{1,271 \times 10^{12} \times d_c \times D_e \times \Phi_c}$$

$$Re = 14894,8121 \text{ Ft} = 0,00280 + 0,250 (14894,8121)^{0,32} = 0,01434965$$

$$D_e \left(\frac{4 * p^2}{\pi * d_o} \right) - d_o$$

nc : 2

Nc : 17

Gct : 655,160535

De : 0,025 m.

Dc : 1,2.

ϕ_c : 0,99969234

d4 15 = 0,8042

$$\Delta P_c = \frac{2 \times 0,01434965 \times (655,160535)^2 \times (17 + 1) \times 1,2}{3,75 \cdot 10^{12} \times 0,8042 \times 0,025 \times 0,99969234} = 8,22855 \cdot 10^{-06} \text{ pas} = 0,8228551 \text{ bar}$$

.Calcul l'efficacité de préchauffeur :

On définit l'efficacité (ϵ) de la batterie préchauffeur de la manière suivante :

Cas design :

$$\epsilon = Q/\text{Max} = (t_2 - t_1) / (T_1 - t_1) \quad T_1 = 160^\circ,$$

$$t_1 = 68,1^\circ,$$

$$t_2 = 114^\circ$$

$$\epsilon = Q/\text{Max} = (114 - 68,1) / (160 - 68,1) = 50 \%$$

T1 entré calandre

Chapitre 2 : L'essai de dimensionnement d'un préchauffeur P30-GA-21-01 de l'unité de traitement brut sud.

T2 sortie coté tube

T1 entré coté tube

Cas actuel :

$$\varepsilon = Q/\text{Max} = (t_2 - t_1) /$$

$$(T_1 - t_1) \quad T_1 = 151,83$$

$$t_1 = 75,95 \text{ c}^\circ$$

$$t_2 = 100,9 \text{ c}^\circ$$

$$\varepsilon = Q/\text{Max} = (100,9 - 75,95) / (151,83 - 75,95) = 33\%$$

. Calcul du débit de brut non stabilisé (coté tube) :

Connaissant la charge thermique cédée, on peut calculer le débit de brut non stabilisé selon la formule :

$$Q = C_p G_1 (T_E - T_S) = G_2 \cdot C_p (t_S - t_E)$$

$$G_2 = \frac{Q_1}{C_p (t_S - t_E)} \text{ et } Q_1 = G C_p (T_E - T_S)$$

$$Q = G_1 C_p (T_2 - T_1) = 72117,49 \times 2,108 \times (151,47 - 123,53) = 21\,921\,620,233 \text{ Kj/h}$$

➤ **Coté calandre:**

$$G_1 = 72117,49 \text{ kg/h}, \quad C_p = 2,108 \text{ kJ/kg}, \quad T_1 = 151,47 \text{ c}^\circ, \quad T_2 = 123,53 \text{ c}^\circ.$$

Chapitre 2 : L'essai de dimensionnement d'un préchauffeur P30-GA-21-01 de l'unité de traitement brut sud.

➤ Côté tube:

$$C_p = 2,0261 \text{ KJ/Kg}, T_1 = 73,250 \text{ c}^\circ, T_2 = 100,470 \text{ c}^\circ.$$

$$G_2 = \frac{21921620233}{2,026.(100,47 - 73,25)} = 397497,082 \text{ kg/h. } G_2 = 397497,082 \text{ kg/h.}$$

. Calcul du débit de brut stabilisé :

$$Q = G_1 C_p (T_2 - T_1) = 415008 \cdot 2,108 (151,830 - 128,570) = 21\,897\,452,709$$

➤ Côté calandre:

$$G_1 = 415008 \text{ kg/h}, C_p = \text{KJ/Kg}, T_1 = 151,830 \text{ c}^\circ, T_2 = 128,570 \text{ c}^\circ.$$

➤ Côté tube:

$$C_p = 2,0048 \text{ kJ/kg}, T_1 = 75,950 \text{ c}^\circ, T_2 = 100,910 \text{ c}^\circ.$$

$$G_2 = \frac{21897452709}{2,0048.(100,91 - 75,95)} = 437590,349 \text{ kg/h.}$$

Conclusion :

On remarque que les résultats sont différents et la cause de cette différence est due à la présence de l'encrassement.

Chapitre 3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur

Chapitre3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur

la définition de la maintenance :

La maintenance est une discipline multidisciplinaire qui englobe un ensemble d'activités planifiées et réactives visant à garantir la disponibilité, la fiabilité, la durabilité et la sécurité des équipements, des systèmes, des machines, des véhicules ou des infrastructures. Elle vise à maintenir le bon fonctionnement de ces actifs tout au long de leur cycle de vie, en minimisant les pannes, en optimisant les performances, en prolongeant la durée de vie utile et en assurant la sécurité des personnes et des biens. La maintenance comprend diverses stratégies, notamment la maintenance corrective, la maintenance préventive, la maintenance prédictive et la maintenance de l'amélioration continue, et elle repose sur des activités telles que l'inspection, la réparation, le remplacement, la lubrification et la gestion des pièces de rechange. Elle joue un rôle essentiel dans de nombreuses industries pour garantir la continuité des opérations, la qualité des produits ou des services, ainsi que la rentabilité et la durabilité des entreprises.

Les types de maintenance :

Il existe plusieurs types de maintenance, chacun ayant ses propres objectifs, avantages et applications. Voici une présentation des principaux types de maintenance :

Maintenance corrective :

La maintenance corrective est une approche de gestion de la maintenance qui intervient après qu'une panne, un dysfonctionnement ou un problème a été constaté sur un équipement, une machine ou un système. Contrairement à la maintenance préventive, qui vise à prévenir les pannes en effectuant des tâches planifiées à intervalles réguliers, la maintenance corrective a pour objectif de rétablir l'équipement en panne ou défectueux à un état de fonctionnement normal.

Voici quelques caractéristiques clés de la maintenance corrective :

. **Réaction à un problème** : La maintenance corrective intervient en réponse à un problème existant, tel qu'une panne, une défaillance, ou un dysfonctionnement. Elle n'est pas planifiée à l'avance, mais déclenchée par la constatation d'une anomalie.

Chapitre3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur

. **Diagnostic de la panne** : Avant d'effectuer des réparations, il est souvent nécessaire de diagnostiquer la cause sous-jacente de la panne ou du dysfonctionnement. Cette étape permet de déterminer quelles actions correctives sont nécessaires.

. **Réparations ou remplacements** : Une fois la cause de la panne identifiée, des réparations sont effectuées pour résoudre le problème. Cela peut impliquer la réparation de composants endommagés, le remplacement de pièces usées, ou d'autres actions visant à restaurer l'équipement à son état de fonctionnement optimal.

. **Intervention rapide** : La maintenance corrective est généralement réalisée dans les plus brefs délais afin de minimiser les temps d'arrêt de l'équipement. L'objectif est de rétablir la production ou le fonctionnement normal le plus rapidement possible.

. **Coûts variables** : Les coûts associés à la maintenance corrective peuvent être variables et difficiles à prévoir, car ils dépendent de la gravité de la panne et des pièces ou des réparations nécessaires.

. **Gestion des urgences** : La maintenance corrective peut nécessiter une gestion efficace des situations d'urgence. Les équipes de maintenance doivent être prêtes à intervenir rapidement en cas de besoin.

. **Documentation et suivi** : Il est important de documenter les actions correctives prises, les réparations effectuées, et toute leçon apprise pour éviter la récurrence du problème.

La maintenance corrective est souvent inévitable car même avec une maintenance préventive efficace, des pannes imprévues peuvent survenir. Elle est essentielle pour minimiser les temps d'arrêt non planifiés et assurer la continuité des opérations, mais elle peut être coûteuse en termes de temps et de ressources si elle est trop fréquente. Pour cette raison, de nombreuses organisations cherchent à réduire la maintenance corrective en mettant en œuvre des stratégies de maintenance préventive et prédictive.

Maintenance préventive :

La maintenance préventive est une approche de gestion de la maintenance qui vise à prévenir les pannes et les dysfonctionnements en planifiant et en réalisant des activités de maintenance régulières et préétablies sur des équipements, des machines ou des systèmes. L'objectif principal de la maintenance préventive est de maintenir ces éléments en bon état de fonctionnement, de prolonger leur durée de vie utile et de minimiser les temps d'arrêt imprévus.

Voici quelques caractéristiques clés de la maintenance préventive :

Chapitre3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur

. **Planification anticipée** : Les activités de maintenance préventive sont planifiées à l'avance, souvent sur la base d'un calendrier fixe ou d'un nombre d'heures de fonctionnement prédéterminé. Elles sont effectuées de manière proactive, indépendamment de tout signe de panne ou de défaillance.

. **Activités régulières** : Les activités de maintenance préventive comprennent des tâches telles que l'inspection, la lubrification, le nettoyage, le remplacement de pièces usées, le calibrage, et d'autres actions visant à maintenir les équipements en bon état de marche.

. **Réduction des pannes** : En identifiant et en corrigeant les problèmes potentiels avant qu'ils ne deviennent critiques, la maintenance préventive permet de réduire considérablement le risque de pannes et d'arrêts non planifiés.

. **Prolongation de la durée de vie utile** : En maintenant régulièrement les équipements, la maintenance préventive contribue à prolonger leur durée de vie utile, ce qui permet aux entreprises de maximiser leur investissement.

. **Planification des ressources** : La planification des activités de maintenance préventive permet aux entreprises de gérer plus efficacement leurs ressources humaines, matérielles et budgétaires, en évitant les dépenses imprévues liées aux pannes.

. **Documentation et suivi** : Les activités de maintenance préventive sont généralement documentées et suivies de manière systématique. Cela inclut l'enregistrement des dates d'exécution, des observations, des réparations effectuées, et des remplacements de pièces.

. **Optimisation des performances** : La maintenance préventive contribue à maintenir les équipements à des niveaux de performance optimaux, ce qui est essentiel dans de nombreuses industries pour garantir la qualité des produits ou services.

En résumé, la maintenance préventive consiste à prendre des mesures proactives pour maintenir les équipements et les systèmes en bon état de fonctionnement en effectuant régulièrement des activités de maintenance planifiées. Elle est largement utilisée dans de nombreuses industries pour minimiser les temps d'arrêt, prolonger la durée de vie des équipements et assurer la continuité des opérations.

Maintenance prédictive :

La maintenance prédictive est une approche de gestion de la maintenance qui vise à anticiper les pannes et les défaillances d'équipements, de machines ou de systèmes en surveillant en continu leur état. Cette stratégie repose sur la collecte de données en temps réel, l'analyse des performances et la détection des signes avant-coureurs de problèmes potentiels. L'objectif principal de la maintenance prédictive est d'intervenir de manière proactive pour effectuer des réparations ou des entretiens lorsque cela est nécessaire, au lieu d'attendre qu'une panne se produise.

Chapitre3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur

Voici les caractéristiques clés de la maintenance prédictive :

. Surveillance en temps réel : La maintenance prédictive repose sur la surveillance en temps réel des équipements à l'aide de capteurs, d'instruments de mesure et de systèmes de suivi. Ces dispositifs collectent des données sur les paramètres tels que la température, la pression, la vibration, le débit, la conductivité, etc.

. Analyse des données : Les données collectées sont analysées à l'aide de logiciels spécialisés, d'algorithmes et de techniques d'analyse de données avancées. Cette analyse permet d'identifier les tendances, les anomalies et les signaux indicateurs de problèmes imminents.

. Détection des signes avant-coureurs : La maintenance prédictive vise à détecter les signes avant-coureurs de défaillance, tels que des variations inhabituelles dans les données de surveillance, des vibrations anormales, une augmentation de la température, etc.

. Planification des interventions : Une fois qu'une anomalie est détectée, des actions de maintenance sont planifiées et programmées pour corriger le problème avant qu'il ne provoque une panne majeure. Ces interventions sont généralement planifiées au moment optimal pour minimiser les temps d'arrêt.

. Réduction des coûts et des temps d'arrêt : La maintenance prédictive permet de réduire les coûts de maintenance en évitant des réparations coûteuses et en prolongeant la durée de vie utile des équipements. Elle permet également de minimiser les temps d'arrêt imprévus, ce qui améliore la productivité.

. Optimisation des ressources : Les ressources humaines, matérielles et budgétaires sont optimisées grâce à la planification précise des interventions. Les techniciens de maintenance n'interviennent que lorsque cela est nécessaire.

. Documentation et historique : Toutes les données de surveillance, les analyses, les réparations et les interventions sont documentées pour constituer un historique de l'équipement, ce qui facilite la gestion future de la maintenance.

La maintenance prédictive est couramment utilisée dans de nombreuses industries, notamment l'industrie manufacturière, l'énergie, les télécommunications, et les transports, pour maximiser la disponibilité et la fiabilité des équipements critiques. Elle offre un moyen efficace de prévenir les pannes coûteuses et de prolonger la durée de vie des actifs tout en réduisant les coûts de maintenance globaux.

Maintenance de l'amélioration continue :

Chapitre3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur

La maintenance de l'amélioration continue, également appelée maintenance de l'excellence opérationnelle, est une approche de gestion de la maintenance qui se concentre sur l'optimisation constante des équipements, des processus et des pratiques de maintenance afin d'atteindre des niveaux de performance plus élevés. Contrairement à la maintenance préventive qui vise à éviter les pannes, la maintenance de l'amélioration continue vise à élever les standards de performance, la durabilité et l'efficacité de l'ensemble du système de maintenance.

Voici une définition plus détaillée de la maintenance de l'amélioration continue :

La maintenance de l'amélioration continue est une approche proactive de gestion de la maintenance qui implique :

- . Analyse et évaluation constantes : Elle débute par une analyse minutieuse des processus de maintenance, des équipements et des performances existantes. Cette évaluation permet d'identifier les domaines qui nécessitent une amélioration ou une optimisation.
- . Optimisation des processus : Elle vise à optimiser les procédures et les méthodes de maintenance pour maximiser l'efficacité, la productivité et la qualité des opérations. Cela peut inclure l'identification de meilleures pratiques, la simplification des processus, et l'automatisation lorsque c'est pertinent.
- . Amélioration de la fiabilité : Elle cherche à renforcer la fiabilité des équipements en mettant en œuvre des stratégies de maintenance spécifiques pour prévenir les pannes, réduire les temps d'arrêt et prolonger la durée de vie utile des actifs.
- . Gestion de la qualité : Elle met l'accent sur la qualité de la maintenance en s'assurant que les interventions sont effectuées conformément aux normes, aux spécifications et aux recommandations du fabricant. Elle peut inclure des programmes de formation pour le personnel de maintenance.
- . Incorporation de technologies avancées : Elle intègre des technologies de pointe telles que la surveillance en temps réel, la maintenance prédictive, la maintenance conditionnelle, et l'Internet des objets (IoT) pour améliorer la gestion des actifs.
- . Réduction des coûts : Bien que l'amélioration continue puisse nécessiter des investissements initiaux, elle vise également à réduire les coûts à long terme en évitant des réparations coûteuses, en réduisant les temps d'arrêt et en prolongeant la durée de vie des équipements.
- . Culture d'amélioration continue : Elle encourage une culture d'amélioration continue au sein de l'organisation, incitant les équipes de maintenance à chercher constamment des moyens d'optimiser leurs opérations et de contribuer à l'efficacité globale de l'entreprise.

Chapitre3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur

La maintenance de l'amélioration continue est une approche proactive qui vise à créer un environnement où l'excellence opérationnelle est constamment recherchée. Elle permet aux organisations de rester compétitives, d'augmenter la durée de vie de leurs actifs et d'assurer la qualité et la fiabilité de leurs produits ou services.

Maintenance conditionnelle :

La maintenance conditionnelle est une stratégie de gestion de la maintenance qui consiste à effectuer des activités de maintenance en fonction de l'état actuel d'un équipement, d'une machine ou d'un système, tel que déterminé par des mesures, des inspections ou des tests. Contrairement à la maintenance préventive, qui repose sur des tâches planifiées à intervalles réguliers, la maintenance conditionnelle intervient lorsque des indicateurs spécifiques atteignent des seuils prédéfinis, signalant la nécessité d'une intervention.

Voici une définition plus détaillée de la maintenance conditionnelle :

La maintenance conditionnelle est une approche de gestion de la maintenance qui implique :

- . Surveillance et mesure : L'utilisation de capteurs, d'instruments de mesure et d'autres dispositifs de surveillance pour collecter des données en temps réel ou périodiquement sur les paramètres de fonctionnement d'un équipement. Ces paramètres peuvent inclure la température, la pression, la vibration, le débit, la conductivité, etc.

- . Seuils de déclenchement : La définition de seuils ou de critères spécifiques qui, lorsqu'ils sont atteints ou dépassés, déclenchent des actions de maintenance. Par exemple, une augmentation de la température au-delà d'un certain seuil peut déclencher une intervention de maintenance.

- . Inspections visuelles : Outre les mesures automatisées, des inspections visuelles périodiques peuvent être réalisées pour détecter visuellement des signes de dégradation, de corrosion, de fuites ou d'autres problèmes potentiels.

- . Tests et analyses spécifiques : La maintenance conditionnelle peut également inclure des tests et des analyses plus approfondis, tels que des analyses d'huile, des essais non destructifs, des contrôles de vibration avancés, etc., en fonction des besoins et de la complexité de l'équipement.

- . Planification des interventions : Lorsque les indicateurs ou les seuils spécifiés sont atteints, des actions de maintenance sont planifiées et programmées pour corriger les problèmes identifiés. Cela peut inclure des réparations, des remplacements de composants ou des ajustements.

Chapitre3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur

- . Réduction des coûts : La maintenance conditionnelle vise à réduire les coûts de maintenance en n'intervenant que lorsque cela est nécessaire. Cela évite des réparations prématurées ou inutiles.
- . Optimisation des ressources : Elle permet d'optimiser l'utilisation des ressources humaines, matérielles et budgétaires en évitant les activités de maintenance non essentielles.
- . Gestion des actifs : Elle contribue à prolonger la durée de vie utile des actifs en intervenant au moment optimal pour prévenir les pannes majeures.

La maintenance conditionnelle est couramment utilisée dans des industries telles que l'industrie manufacturière, l'énergie, la production pétrolière et gazière, les transports, et d'autres secteurs où la fiabilité et la disponibilité des équipements sont essentielles. Elle offre un équilibre entre la prévention des pannes et la minimisation des coûts de maintenance en se basant sur l'état réel de l'équipement.

Maintenance planifiée :

La maintenance planifiée est une stratégie de gestion de la maintenance qui consiste à effectuer des activités de maintenance préventive ou corrective selon un calendrier préétabli ou un plan défini à l'avance. Cette approche s'appuie sur une programmation rigoureuse des tâches de maintenance en fonction de critères tels que le temps, les heures d'utilisation, le nombre de cycles, etc. L'objectif principal de la maintenance planifiée est de maintenir les équipements en bon état de fonctionnement, de prévenir les pannes, d'optimiser les performances et de prolonger la durée de vie des actifs.

Voici les caractéristiques principales de la maintenance planifiée :

- . Calendrier préétabli : Les activités de maintenance planifiée sont programmées à l'avance en fonction d'un calendrier fixe ou d'une fréquence spécifique. Par exemple, une maintenance peut être planifiée tous les six mois, tous les 1 000 heures d'utilisation, ou chaque année.
- . Tâches prédéfinies : Les activités de maintenance planifiée comprennent des tâches spécifiques qui sont prédéfinies en fonction des besoins de l'équipement. Ces tâches peuvent inclure l'inspection, la lubrification, le nettoyage, le remplacement de pièces usées, le calibrage, la vérification des paramètres, etc.
- . Prévention des pannes : La maintenance planifiée vise à prévenir les pannes en anticipant les problèmes potentiels. En effectuant régulièrement des activités de maintenance, on réduit le risque de défaillance des équipements.

Chapitre3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur

. Optimisation des performances : Elle contribue à maintenir les équipements à des niveaux de performance optimaux, ce qui est essentiel dans de nombreuses industries pour garantir la qualité des produits ou services.

. Planification des ressources : La maintenance planifiée permet de planifier et d'allouer efficacement les ressources humaines, matérielles et budgétaires nécessaires pour les activités de maintenance, ce qui facilite la gestion des opérations.

. Documentation et suivi : Toutes les activités de maintenance planifiée sont documentées de manière systématique. Cela inclut la tenue de registres, la mise à jour de l'historique des équipements, et le suivi des tâches réalisées.

. Prolongation de la durée de vie utile : En maintenant régulièrement les équipements, la maintenance planifiée contribue à prolonger leur durée de vie utile, ce qui permet aux entreprises de maximiser leur investissement.

La maintenance planifiée est couramment utilisée dans de nombreuses industries, notamment l'industrie manufacturière, l'énergie, les télécommunications, les transports, et d'autres, pour maintenir la fiabilité des équipements et minimiser les temps d'arrêt non planifiés. Elle s'oppose à la maintenance corrective, qui intervient en réponse à des pannes ou à des problèmes déjà survenus.

Maintenance de sécurité :

La maintenance de sécurité, également connue sous le nom de maintenance sécurité-incendie, est une catégorie spécifique de maintenance qui se concentre sur la garantie que les équipements, systèmes et dispositifs de sécurité d'un bâtiment ou d'une installation sont en état de fonctionnement optimal pour prévenir, détecter ou combattre les incendies et assurer la sécurité des occupants. L'objectif principal de la maintenance de sécurité est de minimiser les risques liés aux incendies, d'assurer la conformité aux normes de sécurité incendie et de garantir que les équipements de sécurité sont prêts à intervenir en cas d'urgence.

Voici quelques éléments caractéristiques de la maintenance de sécurité :

. Systèmes de détection et d'alarme incendie : Cela inclut l'entretien des systèmes de détection des incendies, tels que les détecteurs de fumée, les détecteurs de chaleur, les systèmes de détection d'incendie par aspiration, ainsi que les systèmes d'alarme incendie qui alertent les occupants en cas d'incendie.

Chapitre3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur

- . Systèmes de suppression d'incendie : Cela concerne l'inspection et la maintenance des systèmes de suppression d'incendie, comme les systèmes de sprinklers, les systèmes d'extinction automatique à gaz, les extincteurs portables, les systèmes d'extinction à mousse, etc.
- . Équipements de sécurité : Il s'agit de la maintenance des équipements de sécurité personnelle, tels que les équipements de protection individuelle (EPI) pour les premiers intervenants, les équipements respiratoires autonomes (ERA), les trousse de secours, les douches de sécurité, les lave-yeux, etc.
- . Voies d'évacuation : Cela inclut l'entretien des voies d'évacuation, des sorties de secours, des escaliers de secours et des issues de secours pour garantir qu'ils sont accessibles en cas d'urgence.
- . Formation et sensibilisation : La maintenance de sécurité comprend également la formation régulière du personnel aux procédures d'évacuation, à l'utilisation des équipements de sécurité, et à la réponse aux incendies.
- . Conformité aux normes : Elle vise à s'assurer que tous les équipements de sécurité sont conformes aux normes et aux réglementations locales, nationales et internationales.
- . Planification des inspections : Les activités de maintenance de sécurité sont généralement planifiées à intervalles réguliers pour s'assurer que les équipements fonctionnent correctement en tout temps.
- . Tests et simulations d'incendie : Des tests et des simulations d'incendie sont parfois effectués pour évaluer la réactivité des systèmes de sécurité et la préparation des occupants en cas d'incendie.

La maintenance de sécurité est essentielle pour protéger la vie humaine, minimiser les dommages matériels et maintenir la continuité des activités en cas d'incendie ou d'autres situations d'urgence. Elle est largement réglementée dans de nombreuses juridictions pour garantir que les équipements de sécurité sont entretenus de manière appropriée et efficace.

- **Objectif** : Assurer la sécurité des équipements et des systèmes, en se concentrant sur la prévention des incidents dangereux.

- **Quand l'utiliser** : Toujours, pour garantir la sécurité des travailleurs et du public.

- **Avantages** : Prévention des accidents et des risques pour la santé.

Le choix du type de maintenance dépend du type d'équipement, de ses conditions d'utilisation, de son importance pour l'entreprise, des coûts associés et des objectifs de performance.

Chapitre3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur

Souvent, une combinaison de différents types de maintenance est utilisée pour optimiser la gestion des actifs.

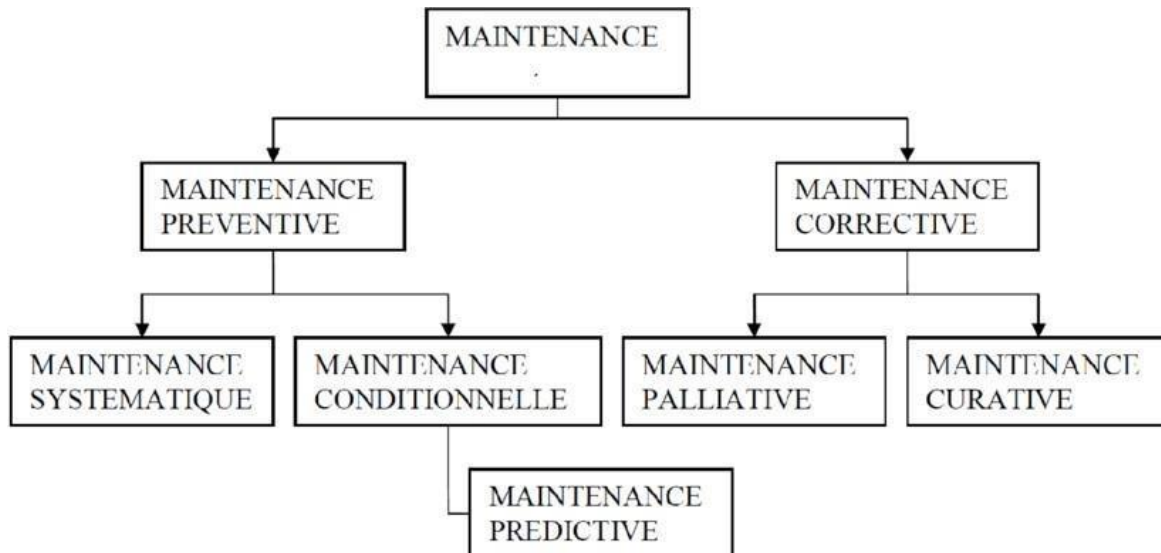


Figure III.1.. : Schéma de la maintenance

les problèmes rencontrés dans un échangeur de chaleur :

Les échangeurs de chaleur sont des équipements essentiels dans de nombreuses industries pour transférer la chaleur d'un fluide à un autre, que ce soit pour le chauffage, le refroidissement ou d'autres processus. Cependant, ces équipements peuvent rencontrer divers problèmes au fil du temps. Voici quelques-uns des problèmes couramment rencontrés dans un échangeur de chaleur :

Bien sûr, voici plus de détails sur les problèmes couramment rencontrés dans les échangeurs de chaleur :

Encrassement :

L'encrassement d'un échangeur de chaleur se produit lorsque des particules solides, des dépôts ou d'autres substances s'accumulent à l'intérieur ou à l'extérieur des surfaces d'échange thermique de l'échangeur. Cela peut entraîner une diminution de l'efficacité de l'échangeur de chaleur et, par conséquent, une baisse des performances de chauffage ou de refroidissement. L'encrassement peut se produire dans divers types d'échangeurs de chaleur, tels que les échangeurs à plaques, les échangeurs tubulaires, les condenseurs et les évaporateurs.

Chapitre3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur

Voici quelques-unes des causes courantes de l'encrassement d'un échangeur de chaleur :

. Dépôts minéraux : L'eau utilisée dans le système de refroidissement ou de chauffage peut contenir des minéraux tels que le calcaire, la silice ou la magnésie. Au fil du temps, ces minéraux peuvent se déposer sur les surfaces internes de l'échangeur de chaleur, formant des dépôts solides.

. Dépôts biologiques : Dans certains environnements, des organismes biologiques tels que les algues, les bactéries ou les mollusques peuvent se développer à l'intérieur de l'échangeur de chaleur, créant des dépôts biologiques.

. Corrosion : L'encrassement peut également être causé par la corrosion des surfaces internes de l'échangeur de chaleur. La corrosion crée des dépôts sous forme de rouille ou de résidus métalliques.

. Dépôts de produits chimiques : Dans les processus industriels, certains produits chimiques peuvent se déposer sur les surfaces de l'échangeur de chaleur et former des dépôts solides.

. Particules en suspension : Dans l'air ou dans le fluide de processus, il peut y avoir des particules en suspension telles que de la poussière, du sable, des fibres, etc., qui peuvent être piégées dans l'échangeur de chaleur et provoquer l'encrassement.

Les effets de l'encrassement d'un échangeur de chaleur peuvent être significatifs, notamment :

- Réduction de l'efficacité thermique : L'encrassement réduit la capacité de transfert de chaleur de l'échangeur, ce qui signifie qu'il faudra plus de temps pour atteindre les températures souhaitées.

- Augmentation de la consommation d'énergie : En raison de la réduction de l'efficacité thermique, l'encrassement peut entraîner une augmentation de la consommation d'énergie pour maintenir les performances thermiques requises.

- Risque de pannes : Une accumulation sévère de dépôts peut entraîner une perte complète de l'efficacité de l'échangeur de chaleur, ce qui peut provoquer des pannes coûteuses.

- Nécessité de nettoyage et de maintenance : Pour résoudre le problème de l'encrassement, il peut être nécessaire de nettoyer régulièrement l'échangeur de chaleur et de mettre en place des procédures de maintenance préventive.

Chapitre3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur

La prévention de l'encrassement implique généralement des mesures telles que l'utilisation de filtres pour retenir les particules en suspension, le traitement de l'eau pour éviter les dépôts minéraux, le nettoyage régulier de l'échangeur de chaleur et la mise en place de programmes de maintenance appropriés.

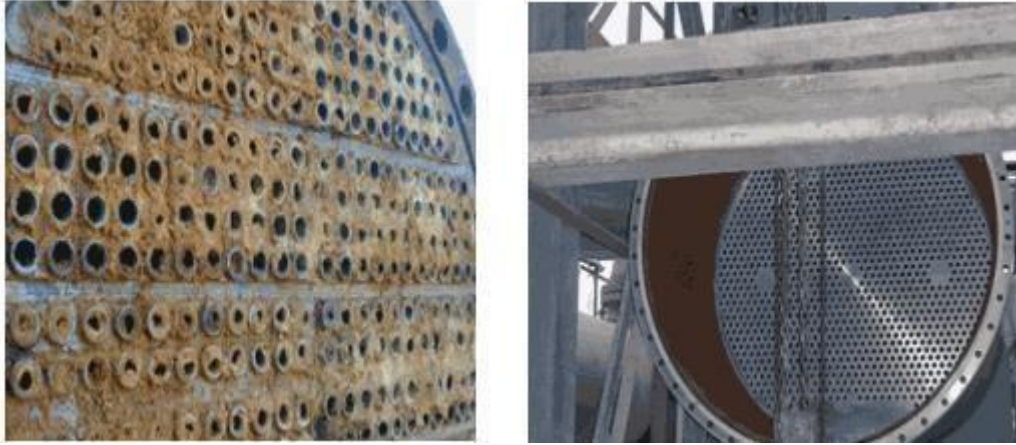


Figure III.2 : Echangeur encrassé et propre

Corrosion :

La corrosion d'un échangeur de chaleur est un problème grave qui peut entraîner une dégradation significative de l'équipement et réduire son efficacité thermique. La corrosion est le processus chimique par lequel des métaux ou des alliages métalliques réagissent avec leur environnement, généralement en présence d'eau ou d'humidité, pour former des oxydes, des sels ou d'autres composés qui détériorent progressivement le matériau métallique. Dans un échangeur de chaleur, la corrosion peut se produire sur les surfaces internes ou externes, en fonction des conditions de fonctionnement et des matériaux utilisés.

Voici quelques-unes des principales causes de corrosion dans un échangeur de chaleur :

. Corrosion électrochimique : Ce type de corrosion est le plus courant dans les échangeurs de chaleur. Elle se produit lorsque des métaux différents sont en contact les uns avec les autres ou lorsque des métaux sont exposés à des électrolytes tels que l'eau. Les métaux peuvent se corroder en raison de réactions électrochimiques, notamment la corrosion galvanique et la corrosion par piqûres.

. Corrosion par érosion : La corrosion par érosion se produit lorsque des particules solides en suspension dans le fluide de processus frottent contre les surfaces métalliques, provoquant une usure et une corrosion accélérées. Cela peut se produire dans des environnements où le fluide transporte des particules abrasives.

Chapitre3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur

. Corrosion due aux produits chimiques : Certains produits chimiques présents dans le fluide de processus peuvent réagir avec les surfaces métalliques de l'échangeur de chaleur, provoquant une corrosion chimique. Les acides, les bases et d'autres substances corrosives sont souvent à l'origine de ce type de corrosion.

. Corrosion à haute température : Les températures élevées peuvent accélérer la corrosion des métaux. Cela peut se produire dans les échangeurs de chaleur utilisés pour des applications à haute température, tels que les chaudières.

Les effets de la corrosion dans un échangeur de chaleur peuvent être graves, notamment :

- Diminution de l'efficacité thermique : La corrosion peut obstruer les surfaces d'échange thermique, ce qui réduit la capacité de l'échangeur à transférer la chaleur de manière efficace.

- Réduction de la durée de vie utile : La corrosion peut endommager les composants de l'échangeur de chaleur, ce qui entraîne une réduction de sa durée de vie utile.

- Risque de fuites : La corrosion peut provoquer des perforations ou des fuites dans les parois de l'échangeur de chaleur, ce qui peut entraîner des problèmes de sécurité et des fuites de fluide.

Pour prévenir la corrosion dans un échangeur de chaleur, diverses mesures peuvent être prises, notamment l'utilisation de matériaux résistants à la corrosion, le contrôle des conditions de fonctionnement, le traitement chimique de l'eau, l'utilisation de revêtements protecteurs, ext....

Fuites :

Les fuites dans un échangeur de chaleur sont des problèmes sérieux qui peuvent entraîner une perte de fluide, une baisse d'efficacité thermique, des risques de sécurité et une détérioration de l'équipement. Les fuites peuvent se produire à divers endroits de l'échangeur de chaleur, notamment sur les surfaces d'échange thermique, les joints, les soudures, les raccords et les tuyaux. Voici quelques-unes des causes courantes de fuites dans un échangeur de chaleur :

. Usure et corrosion : L'usure due à l'écoulement du fluide ou la corrosion des surfaces métalliques de l'échangeur de chaleur peut entraîner une détérioration des parois et des fuites.

Chapitre3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur

. Surchauffe : Les températures élevées ou les surchauffes peuvent provoquer des déformations ou des fissures dans les composants de l'échangeur de chaleur, ce qui peut entraîner des fuites.

. Pression excessive : Des fluctuations de pression ou une pression excessive dans l'échangeur de chaleur peuvent endommager les parois et les joints, provoquant ainsi des fuites.

. Vibrations excessives : Les vibrations excessives, souvent dues à un déséquilibre ou à une mauvaise installation, peuvent endommager les composants et provoquer des fuites.

. Mauvaise qualité des soudures ou des joints : Si les soudures ou les joints ne sont pas correctement réalisés ou s'ils sont défectueux, ils peuvent être sujets aux fuites.

Les effets des fuites dans un échangeur de chaleur peuvent être les suivants :

- Perte de fluide : Les fuites entraînent généralement une perte de fluide, ce qui peut avoir un impact sur le processus de chauffage ou de refroidissement.

- Baisse d'efficacité thermique : Les fuites réduisent la capacité de l'échangeur de chaleur à transférer la chaleur de manière efficace, ce qui peut entraîner une perte d'efficacité.

- Risques de sécurité : Les fuites de fluides chauds ou corrosifs peuvent représenter un risque pour la sécurité des travailleurs et de l'environnement.

- Coûts de réparation : La détection et la réparation des fuites dans un échangeur de chaleur peuvent entraîner des coûts importants de main-d'œuvre et de matériaux.

Pour prévenir les fuites dans un échangeur de chaleur, il est essentiel de mettre en place un programme de maintenance régulier, de surveiller les conditions de fonctionnement, d'inspecter périodiquement l'équipement, de réparer ou de remplacer les composants défectueux, et de suivre les normes et les réglementations de sécurité. Une maintenance préventive appropriée est cruciale pour éviter les fuites et prolonger la durée de vie utile de l'échangeur de chaleur.



Figure. III.3 : fuite du liquide sur un échangeur de chaleur

La déformation :

La déformation est un terme utilisé en physique et en ingénierie pour décrire le changement de forme ou de dimensions d'un objet sous l'influence d'une force ou d'une contrainte. Lorsqu'un matériau est soumis à une force ou à une charge, il peut subir une déformation, ce qui signifie que sa forme originale est modifiée. La déformation peut être temporaire, dans le cas d'une déformation élastique, ou permanente, dans le cas d'une déformation plastique.

Voici quelques types de déformation courants :

- . Déformation élastique.
- . Déformation plastique
- . Déformation viscoélastique :
- . Déformation en cisaillement :
- . Déformation thermique :
- . Déformation sous charge

Chapitre3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur

La déformation est un concept important dans la conception des structures, des matériaux et des composants mécaniques. Les ingénieurs et les scientifiques étudient les propriétés de déformation des matériaux pour comprendre comment ils se comportent sous différentes contraintes et pour concevoir des produits qui résistent aux déformations indésirables ou qui sont conçus pour se déformer de manière contrôlée dans certaines applications.

Blocage :

Le blocage d'un échangeur de chaleur est un problème majeur qui peut entraîner une perte d'efficacité thermique et des problèmes opérationnels. Un échangeur de chaleur peut se bloquer lorsqu'une obstruction physique, telle que des dépôts, des particules solides, des impuretés ou d'autres substances, obstrue les passages à l'intérieur ou à l'extérieur de l'échangeur. Ces obstructions peuvent réduire considérablement la capacité de l'échangeur à transférer la chaleur entre les fluides, ce qui peut entraîner des températures hors spécifications, des surchauffes, des pannes d'équipement et d'autres problèmes. Voici quelques-unes des causes courantes de blocage dans un échangeur de chaleur :

- . Dépôts de calcaire ou de tartre : Dans les systèmes d'eau dure, le calcaire et le tartre peuvent se déposer sur les surfaces internes de l'échangeur de chaleur, obstruant les tubes ou les passages. Cela est courant dans les chaudières, les chauffe-eau et les refroidisseurs d'eau.
- . Dépôts biologiques : Dans les systèmes contenant de l'eau, des bactéries, des algues et d'autres micro-organismes peuvent se développer et former des dépôts biologiques. Ces dépôts peuvent obstruer les passages de l'échangeur.
- . Corrosion : La corrosion peut provoquer la formation de dépôts métalliques ou de rouille à l'intérieur de l'échangeur, ce qui peut entraîner un blocage.
- . Dépôts chimiques : Certains produits chimiques présents dans les fluides de processus peuvent réagir et former des dépôts solides à l'intérieur de l'échangeur de chaleur.
- . Particules en suspension : Si le fluide de processus contient des particules en suspension, telles que de la poussière, du sable ou des fibres, ces particules peuvent s'accumuler et obstruer l'échangeur.
- . Obstructions mécaniques : Des objets étrangers, tels que des morceaux de métal ou de plastique, peuvent accidentellement pénétrer dans l'échangeur et provoquer un blocage.

Les effets du blocage d'un échangeur de chaleur peuvent être graves et inclure :

Chapitre3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur

- Diminution de l'efficacité thermique : Le blocage réduit la capacité de l'échangeur à transférer la chaleur de manière efficace, ce qui peut entraîner des fluctuations de température indésirables.
- Augmentation de la consommation d'énergie : Pour compenser la perte d'efficacité, l'équipement peut devoir fonctionner plus longtemps ou à des températures plus élevées, ce qui entraîne une augmentation de la consommation d'énergie.
- Pannes d'équipement : Dans les cas graves, le blocage peut entraîner des pannes d'équipement, des fuites ou d'autres problèmes opérationnels.

Pour éviter le blocage d'un échangeur de chaleur, il est essentiel de mettre en place des procédures de maintenance préventive, notamment le nettoyage régulier de l'échangeur, le suivi des paramètres de fonctionnement, le traitement de l'eau pour prévenir les dépôts minéraux, et la filtration ou la clarification des fluides pour éliminer les particules en suspension. Une maintenance préventive appropriée peut aider à prévenir le blocage et à maintenir la performance de l'échangeur de chaleur.

Fatigue thermique :

La fatigue thermique d'un échangeur de chaleur est un phénomène qui survient en raison des variations répétées de température auxquelles l'échangeur est exposé pendant son fonctionnement. Ces variations de température cycliques peuvent provoquer des contraintes thermiques et mécaniques sur les matériaux de l'échangeur, ce qui peut entraîner des problèmes tels que des fissures, des déformations et des défaillances structurelles. La fatigue thermique est courante dans les échangeurs de chaleur utilisés dans les processus industriels, les chaudières, les réfrigérants et d'autres applications où les températures varient régulièrement.

Voici comment se produit la fatigue thermique dans un échangeur de chaleur :

. Cycles de chauffage/refroidissement : Pendant le fonctionnement de l'échangeur de chaleur, les fluides chauds circulent à travers les tubes ou les surfaces d'échange thermique, provoquant une augmentation de la température. Ensuite, lorsque le flux de fluide change ou lorsque l'échangeur s'arrête, les surfaces se refroidissent rapidement.

. Contraintes thermiques : Les variations rapides de température créent des contraintes thermiques dans les matériaux de l'échangeur. Lorsqu'un matériau se dilate en raison de la chaleur, puis se contracte rapidement en raison du refroidissement, il subit des contraintes mécaniques.

Chapitre3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur

. Cycles répétitifs : Ces cycles de chauffage/refroidissement se répètent à chaque utilisation de l'échangeur de chaleur, ce qui peut entraîner une fatigue progressive des matériaux au fil du temps.

Les effets de la fatigue thermique dans un échangeur de chaleur peuvent inclure :

- Fissures : Les contraintes thermiques répétées peuvent provoquer des fissures dans les matériaux, en particulier près des soudures ou des zones de contrainte élevée.
- Déformations : La fatigue thermique peut entraîner des déformations permanentes ou une détérioration des composants, ce qui peut affecter les performances de l'échangeur.
- Réduction de la durée de vie : La fatigue thermique peut réduire la durée de vie utile de l'échangeur de chaleur, nécessitant ainsi des réparations ou un remplacement plus fréquent.

Pour minimiser les effets de la fatigue thermique dans un échangeur de chaleur, il est recommandé de prendre les mesures suivantes :

- . Utilisation de matériaux résistants : Choisissez des matériaux de construction appropriés pour résister aux cycles thermiques répétés.
- . Conception robuste : Concevez l'échangeur de chaleur avec une structure robuste qui peut mieux résister aux contraintes thermiques.
- . Surveillance et maintenance régulières : Surveillez les performances de l'échangeur de chaleur, effectuez des inspections régulières et mettez en place un programme de maintenance préventive pour identifier et réparer les problèmes potentiels avant qu'ils ne deviennent graves.
- . Optimisation des cycles de chauffage/refroidissement : Dans la mesure du possible, essayez de minimiser les cycles thermiques en ajustant les opérations pour réduire les changements de température fréquents.

En prenant ces mesures préventives, vous pouvez prolonger la durée de vie de votre échangeur de chaleur et minimiser les problèmes de fatigue thermique.

Chapitre3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur

Déséquilibre de débit :

Le déséquilibre de débit dans un échangeur de chaleur se produit lorsque les flux de fluide entrant et sortant de l'échangeur ne sont pas uniformes ou équilibrés. Cela signifie que l'une des deux parties de l'échangeur de chaleur reçoit plus ou moins de fluide que l'autre, ce qui peut entraîner des problèmes tels que des performances thermiques inégales, une perte d'efficacité et une usure inégale des composants. Un équilibrage approprié des débits est essentiel pour garantir le fonctionnement optimal de l'échangeur de chaleur.

Voici quelques-unes des causes courantes du déséquilibre de débit dans un échangeur de chaleur :

. Problèmes de conception : Une conception inadéquate de l'échangeur de chaleur, notamment la taille des tubes, le nombre de tubes, les dimensions des canaux, etc., peut entraîner un déséquilibre de débit.

. Obstructions : Des obstructions telles que des dépôts, des débris, des particules solides ou des impuretés peuvent obstruer les passages du fluide, provoquant ainsi un déséquilibre de débit.

. Problèmes de distribution : Une distribution inégale du fluide d'entrée dans l'échangeur de chaleur peut entraîner un déséquilibre de débit. Cela peut se produire si les canaux ou les tuyaux d'entrée ne sont pas correctement conçus ou s'ils sont partiellement obstrués.

. Usure inégale : L'usure inégale des composants internes de l'échangeur, tels que les tubes ou les plaques, peut affecter la répartition du fluide et entraîner un déséquilibre de débit.

Les effets du déséquilibre de débit dans un échangeur de chaleur peuvent être les suivants :

- Perte d'efficacité thermique : Un déséquilibre de débit peut entraîner une distribution inégale de la chaleur ou du froid à travers l'échangeur de chaleur, ce qui réduit son efficacité thermique.

- Usure inégale : Les zones du flux de fluide avec un débit plus élevé peuvent subir une usure prématurée, tandis que les zones avec un débit plus faible peuvent être moins affectées.

- Risques de surchauffe ou de sous-refroidissement : Un déséquilibre de débit peut provoquer des variations de température indésirables dans l'échangeur, ce qui peut affecter la performance du processus.

Chapitre3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur

Pour résoudre les problèmes de déséquilibre de débit dans un échangeur de chaleur, il est important de prendre des mesures correctives telles que :

- Effectuer une inspection régulière de l'échangeur de chaleur pour détecter les obstructions, les déformations ou les problèmes de distribution du fluide.
- Nettoyer l'échangeur de chaleur régulièrement pour éliminer les dépôts et les obstructions.
- Équilibrer correctement les débits d'entrée et de sortie en utilisant des vannes ou des dispositifs de régulation.
- Réaliser une maintenance préventive pour prévenir l'usure inégale des composants internes de l'échangeur.
- Examiner la conception de l'échangeur de chaleur pour identifier et corriger les problèmes de conception potentiels.
- Suivre les recommandations du fabricant de l'échangeur de chaleur en ce qui concerne l'équilibrage des débits et l'entretien.

En prenant ces mesures, vous pouvez assurer un fonctionnement optimal de l'échangeur de chaleur et prévenir les problèmes liés au déséquilibre de débit.

Usure :

L'usure d'un échangeur de chaleur est un phénomène inévitable qui se produit au fil du temps en raison de l'exposition constante aux conditions de fonctionnement, aux températures élevées, aux pressions et aux variations de débit des fluides. L'usure peut affecter les composants internes de l'échangeur de chaleur, tels que les tubes, les plaques, les ailettes et les joints. La gravité de l'usure dépend du matériau de construction de l'échangeur, des conditions de fonctionnement et de la qualité de l'entretien.

Voici quelques-unes des principales causes de l'usure d'un échangeur de chaleur :

. **Érosion** : L'érosion se produit lorsque des particules solides en suspension dans le fluide, telles que des sables, des débris ou des particules abrasives, frappent les surfaces internes de l'échangeur. Cela peut provoquer une usure progressive des composants.

Chapitre3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur

. Corrosion : La corrosion est la réaction chimique entre les matériaux métalliques de l'échangeur et les fluides de processus. Elle peut entraîner la détérioration des surfaces internes, la formation de dépôts et des dommages structurels.

. Fouling : Le fouling se produit lorsque des dépôts de particules solides, de calcaire, de tartre, de produits chimiques ou de substances biologiques se forment sur les surfaces internes de l'échangeur de chaleur. Ces dépôts réduisent l'efficacité thermique de l'échangeur.

. Contraintes thermiques : Les variations de température, en particulier lorsqu'elles sont rapides ou extrêmes, peuvent provoquer des contraintes mécaniques dans les matériaux, entraînant une usure progressive.

. Fatigue thermique : La fatigue thermique résulte des cycles répétés de chauffage et de refroidissement de l'échangeur de chaleur, ce qui peut provoquer des fissures et une usure des matériaux.

. Usure mécanique : L'usure mécanique est due à la friction entre les composants internes de l'échangeur, ce qui peut se produire lorsque les matériaux glissent ou frottent les uns contre les autres en raison des vibrations ou des contraintes.

Les effets de l'usure d'un échangeur de chaleur peuvent inclure :

- Diminution de l'efficacité thermique : L'usure réduit la capacité de l'échangeur à transférer efficacement la chaleur entre les fluides, ce qui peut entraîner une perte d'efficacité.

- Diminution de la durée de vie utile : L'usure progressive peut réduire la durée de vie de l'échangeur de chaleur, ce qui peut nécessiter des réparations ou un remplacement prématuré.

- Risque de pannes : Une usure sévère peut provoquer des pannes d'équipement ou des fuites de fluides.

Pour gérer l'usure d'un échangeur de chaleur, il est essentiel de mettre en place un programme de maintenance préventive, notamment le nettoyage régulier pour éliminer les dépôts, la surveillance des conditions de fonctionnement, la réparation ou le remplacement des composants usés, l'utilisation de matériaux résistants à la corrosion et à l'usure, et le respect des recommandations du fabricant en matière d'entretien. Une maintenance appropriée peut prolonger la durée de vie de l'échangeur de chaleur et maintenir ses performances.

1. Problèmes de conception :

Chapitre3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur

L'usure d'un échangeur de chaleur est un phénomène inévitable qui se produit au fil du temps en raison de l'exposition constante aux conditions de fonctionnement, aux températures élevées, aux pressions et aux variations de débit des fluides. L'usure peut affecter les composants internes de l'échangeur de chaleur, tels que les tubes, les plaques, les ailettes et les joints. La gravité de l'usure dépend du matériau de construction de l'échangeur, des conditions de fonctionnement et de la qualité de l'entretien.

Pour gérer l'usure d'un échangeur de chaleur, il est essentiel de mettre en place un programme de maintenance préventive, notamment le nettoyage régulier pour éliminer les dépôts, la surveillance des conditions de fonctionnement, la réparation ou le remplacement des composants usés, l'utilisation de matériaux résistants à la corrosion et à l'usure, et le respect des recommandations du fabricant en matière d'entretien. Une maintenance appropriée peut prolonger la durée de vie de l'échangeur de chaleur et maintenir ses performances.

les types de maintenance d'un échangeur de chaleur :

Pour un échangeur de chaleur, l'application de différentes stratégies de maintenance est essentielle pour garantir son bon fonctionnement, sa fiabilité et sa durabilité. Voici les principaux types de maintenance applicables à un échangeur de chaleur :

1. **Maintenance préventive** : La maintenance préventive consiste à planifier et à effectuer des activités de maintenance régulières selon un calendrier préétabli. Pour un échangeur de chaleur, cela peut impliquer le nettoyage périodique des surfaces de transfert de chaleur pour éviter l'accumulation d'encrassement. Cette approche aide à maintenir l'efficacité de l'échangeur de chaleur en prévenant l'encrassement et la corrosion.

2. **Maintenance corrective** : La maintenance corrective intervient après qu'un problème ou une panne a été identifié. Lorsque l'efficacité de l'échangeur de chaleur diminue en raison de l'encrassement excessif ou d'autres problèmes, une intervention de maintenance corrective peut être nécessaire pour rétablir son fonctionnement optimal.

3. **Maintenance prédictive** : La maintenance prédictive repose sur la surveillance continue de l'état de l'échangeur de chaleur à l'aide de capteurs et d'outils d'analyse de données. Elle permet de détecter les signes avant-coureurs de problèmes tels que l'encrassement ou la corrosion et d'intervenir au moment optimal pour éviter les pannes. Par exemple, la surveillance de la température, de la pression, du débit et de la conductivité peut être utilisée pour prévoir la nécessité de nettoyer ou de réparer l'échangeur.

Chapitre3 : Maintenance de l'échangeur de chaleur

4. **Maintenance de l'amélioration continue** : Cette approche vise à apporter des améliorations progressives à l'échangeur de chaleur pour augmenter sa fiabilité, son efficacité et sa durabilité. Cela peut inclure des mises à niveau de composants, des changements de conception ou l'adoption de meilleures pratiques de gestion de la maintenance.

5. **Maintenance conditionnelle** : La maintenance conditionnelle consiste à effectuer des activités de maintenance en fonction de l'état actuel de l'échangeur de chaleur, déterminé par des mesures ou des inspections. Par exemple, des mesures de la pression différentielle ou de la température peuvent déclencher une intervention de maintenance lorsque des seuils prédéfinis sont atteints.

6. **Maintenance de sécurité** : En plus des autres types de maintenance, il est essentiel d'effectuer régulièrement des inspections de sécurité pour s'assurer que l'échangeur de chaleur fonctionne en toute sécurité, en évitant tout risque de fuite ou de défaillance critique.

Le choix du type de maintenance dépendra des caractéristiques spécifiques de l'échangeur de chaleur, de son environnement d'exploitation, de son importance pour le processus global, et des ressources disponibles. En général, une combinaison de ces stratégies peut être mise en place pour assurer un entretien complet et efficace de l'échangeur de chaleur.

CONCLUSION

Conclusion générale :

Les échangeurs de chaleur sont des appareils très largement utilisés dans l'industrie notamment les échangeurs tubulaires qui présentent plusieurs avantages tels que sa facilité de fabrication et d'entretien, son faible coût, sa gamme étendue de fonctionnement en température et en pression, et sa relative compacité, leur suivi continu des performances permet d'acquérir une compréhension approfondie de l'évolution des paramètres thermiques et dynamiques des deux fluides dans des conditions spécifiques au processus. Ce travail vise à comprendre le dimensionnement d'un échangeur de chaleur et les moyens de le contrôler et de le nettoyer. C'est la raison pour laquelle on a effectué le dimensionnement d'un échangeur tubulaire.

Enfin, un monitoring des paramètres de service d'un échangeur de chaleur est nécessaire en complément de ce travail pour une meilleure compréhension et maîtrise du phénomène d'encrassement.

Bibliographie

- [1] : Sonatrach. La revue de sonatrach Edition N°54, Djenne el Malik Hydra –Alger
- [2] : Documentations au niveau de l'UTBS manuel opératoire d'exploitation, description de l'unité.
- [3] : P.WUITHIER. Raffinage et génie chimique, (tome I) 1987.
- [4] : GRETH. Echangeurs de chaleur : description des échangeurs.-Techniques de l'ingénieur (N° B152, B2341), Génie énergétique, 5-1995.
- [5] : C. DUFFAU, J-M. GRILLOT, J-M. NAVARRO, R. VIDIL. Echangeurs de chaleur, l'encrassement dans les échangeurs : description, prévention et remèdes, Paris : Edition Tec et Doc, 1991.
- [6] : M-A Masri. Méthodologie d'approche d'étude de l'encrassement, 3èmes journées, Scientifique et Technique de Sonatrach, n° 1949, 1998.
- [7] : PIERRE TRAMBOUZE. Matériels et équipements, 1999.
- [8] : R-H Perry. Chilton Enginner Handbook , 5 ème edition.
- [9] : J.P Wauquier. Pétrole brut et produits pétroliers, TOME1, Edition Technip.
- [10] : ANDRE BONTEMPS « ECHANGEUR DE CHALEUR » Université Joseph Fourier, Institut universitaire de Technologie, Département Génie thermique et Énergie (Grenoble)
- [11] : Echangeurs de Chaleur Dr. A. ZIOUCHI (UFR Maintenance Industrielle).
- [12]: Appareils statiques SH/IAP SKIKDA Mr : M.Silini (séminaire 2009).
- [13] : Support de Formation Exploration & Production Les Équipements Les Echangeurs
Dernière Révision: 16/04/2007 TOTAL France

Annexe

Annexe 1: Les abaques

Figure 1.1. Détermination des températures caloriques. [4]

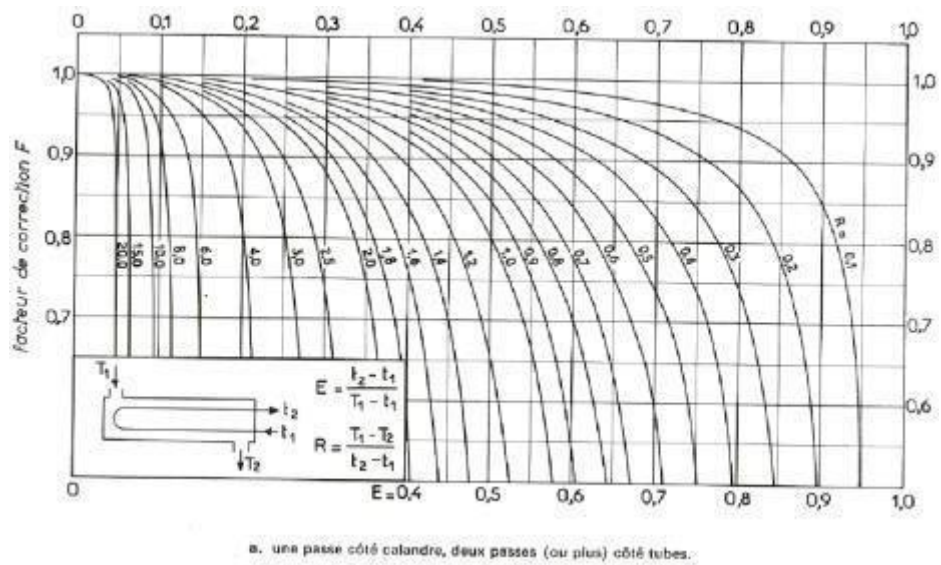
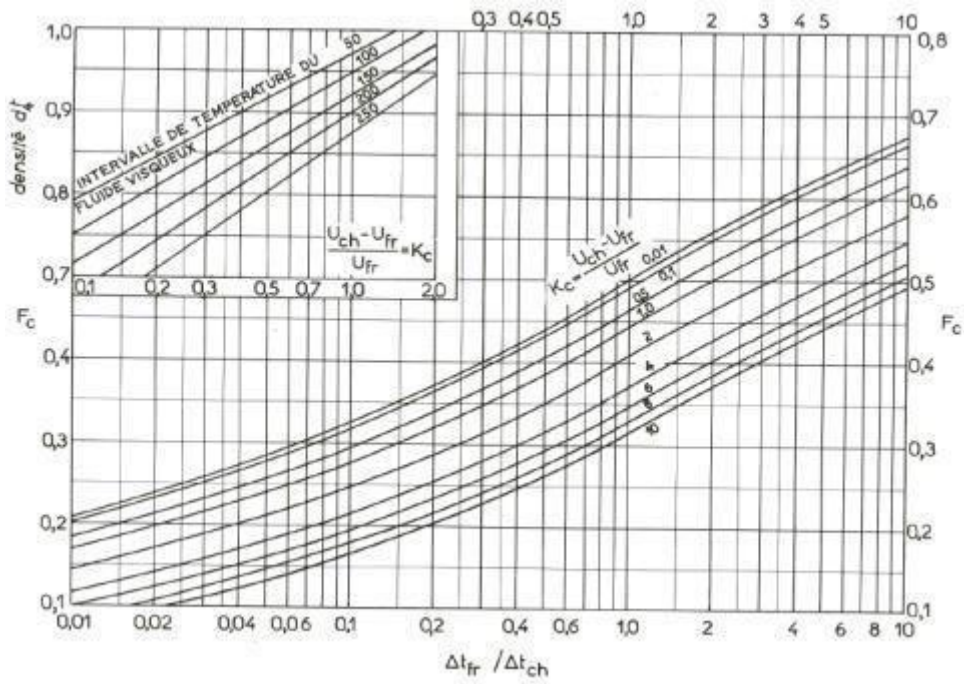
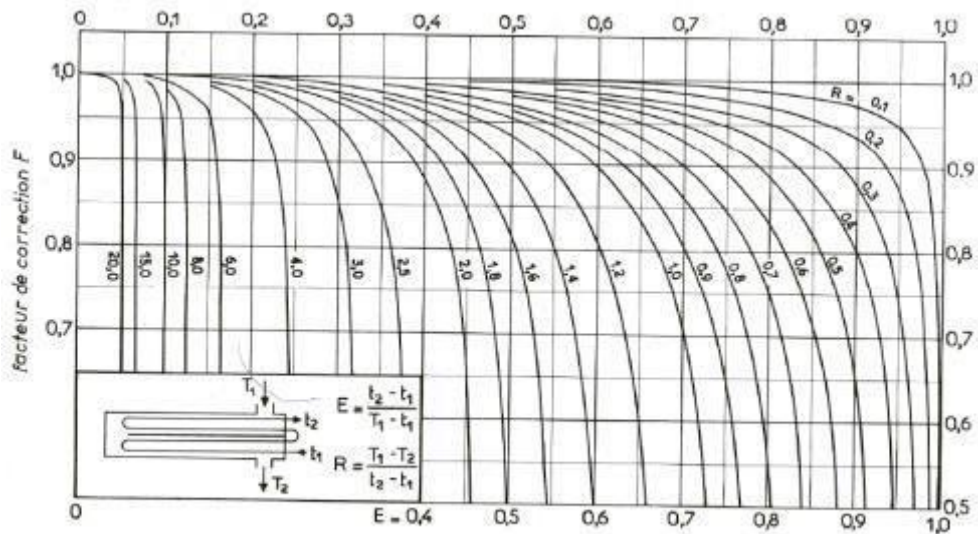


Figure 1.2. Abaque a et b : Détermination de facteur de correction a partir de R et E [3]



b. deux passes côté calandre, quatre passes (ou plus) côté tubes.

Figure 1.3. Coefficient de transfert et coefficient de fraction en fonction de nombre Reynolds modifié à l'intérieur des tubes.[3]

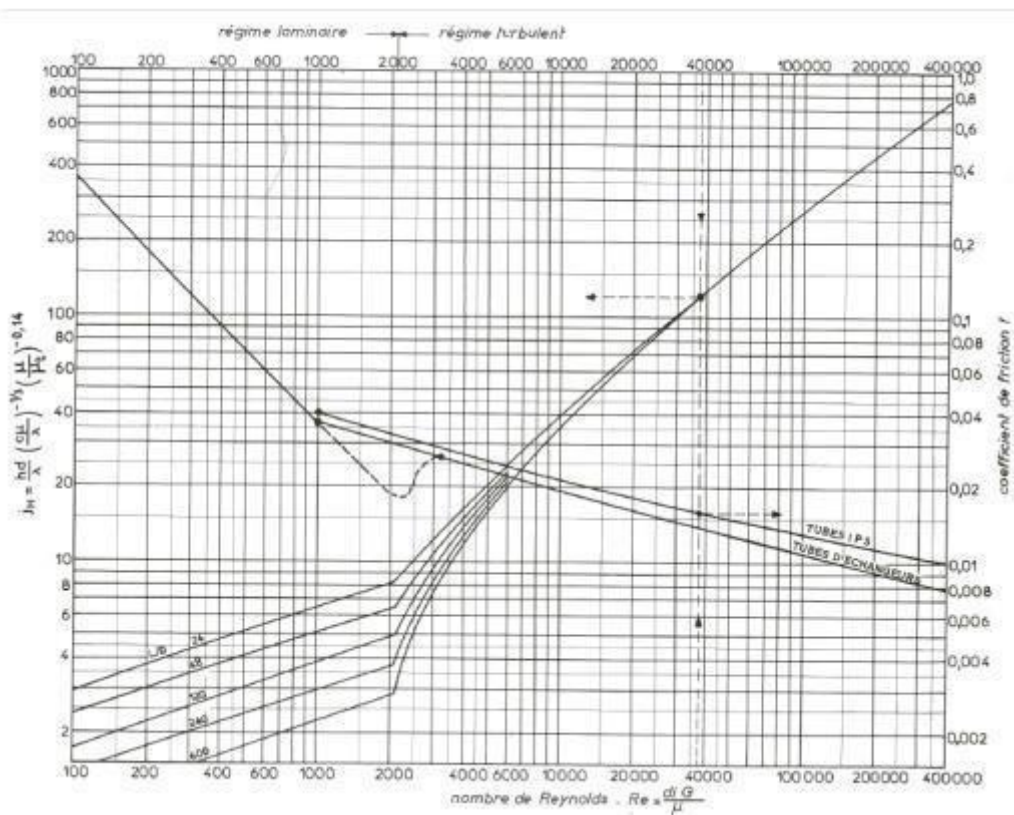


Figure 1.4. Coefficient de transfert et coefficient de fraction en fonction de nombre de Reynolds modifié a l'extérieur des tubes

Résumé :

Dans les sociétés pétrolières l'échangeur de chaleur est un élément essentiel pour la maîtrise de l'énergie, les problèmes relevant de la thermo hydraulique concernent avant tout le dimensionnement thermique des appareils réduits à cause d'encrassement des tubes. Pour cela, dans ce travail en va étudié numériquement le comportement dynamique et thermique d'un écoulement de deux fluides pour améliorer les performances de ces équipements dans le cas d'un échangeur a faisceau tubulaire, et comparaison des résultats obtenu entre le cas design et le cas actuel(après révision), pour avoir la différence entre ces deux cas, et pour voir la net amélioration des performances dans l'échangeurs de chaleur.

Mots clés :

Echangeur de chaleur, dimensionnement thermique, encrassement, écoulement, faisceau tubulaire, cas design, cas actuel.