

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Génie Mécanique

Spécialité : Génie Energétique

Par : **BENYAHIA** Nadira
LAHMAR Meriem

Sujet

***ETUDE THERMIQUE DE L'ECHANGEUR
DE CHALEUR A FAISCEAU ET
CALANDRE E05 EXISTANT DANS LE
COMPLEXE GAZIER DE RHOURE
NOUSS (SONATRACH ALGERIE)***

Soutenu publiquement, le 08 / 06 /2017, devant le jury composé de :

Mr. AZZI .A	MCA	Univ. Tlemcen	Président
Mr. SAIM . R	MCA	Univ. Tlemcen	Directeur de mémoire
Mr. BENRAMDANE .M	MAB	Univ. Tlemcen	Examineur
Mr. ALIANE .A	MAA	Univ. Tlemcen	Examineur

Remerciements

Nous devons tout d'abord remercions le bon Dieu, pour nous' avoir donné la santé, la force et la patience pour accomplir ce travail.

Le moment est venu d'exprimer toute nos reconnaissances à notre encadreur Monsieur RACHID SAIM, de nous avoir fait confiance et puis pour sa disponibilité, sa patience, son suivi constant de ce travail.

Nous exprimons nos sincères remerciements à Mr le chef division de maintenance A.I.ZEROUAL et messieurs K.BENKHALDI et A.KAKI qui a eu l'amabilité de nous encourager par ses conseils, et tous les agents de champs de RHOUDRE NOUS.

Nous tiens à remercierons Mr A.AZZI pour avoir accepté d'évaluer ce travail, et qui nous fait l'honneur d'accepter la présidence de jury.

Nos vifs remerciements vont aussi à Mr M.BENRAMDANE et Mr A.ALIANE pour avoir acceptés d'examiner ce travail et prendre part au jury.

Enfin, nous tiens à remercierons chaleureusement tous les enseignants du département de génie mécanique et tous qui ont participé de près ou de loin pour accomplir ce travail.

N.BENYAHIA & M.LAHMAR

بسم الله الرحمن الرحيم

(قل اعملوا فسيري الله عملكم ورسوله والمؤمنون)

صدق الله العظيم

إلى من كلفه الله بالهيبة والوقار .. إلى من علمني العطاء بدون انتظار .. إلى من أحمل اسمه بكل افتخار .. أرجو من الله أن يمد في عمرك لتري ثماراً قد حان قطافها بعد طول انتظار وستبقى كلماتك نجوم أهدني بها اليوم وفي الغد وإلى الأب... والدي العزيز

إلى ملاكي في الحياة .. إلى معني الحب وإلى معني الحنان و التفاني .. إلى بسمه الحياة وسر الوجود إلى من كان دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي إلى أغلى الحبيب... أمي الحبيبة

إلى جدي و جدتي شفاهما الله و اطال في عمرهما

إلى إخوتي: إسماعيل إبراهيم سيد احمد

إلى كل أقاربي خاصة: نصيرة فضيلة عمارية خلود رجا دعاء أسماء والكتاكيت ملاك و إلياس

إلى من عمل بكد لإتمام هذا العمل: إلى صديقتي مريم

إلى كل الأصدقاء والأحباب دون استثناء: سهام أمينة وسيلة خوله انس

إلى كل أساتذة وطلبة ماستر هندسة طاقوية 2017

نشكركم بكل ما تحمله كلمة شكر من معني ونهدي لكم كل عمرنا يا أجمل ما مضى

به

نشكركم تنطقها قلوبنا على ألسنتنا نشكركم كلمة تعني لنا الكثير وتحمل من الشعور

الكثير تخوننا كل عبارات الشكر في تقديم ما يليق بكم لن ننسى الفضل ولن ننساكم

أبدا.

نصيرة مريم

بسم الله الرحمن الرحيم

(و اخفض لهما جناح الذل من الرحمة و قل رب ارحمهما كما ربياني صغيرا)

"الإسراء.24" صدق الله العظيم

إلهي لا يطيب الليل إلا بشكرك ولا يطيب النهار إلا بطاعتك ..ولا تطيب

اللحظات إلا بذكرك ..ولا تطيب الآخرة إلا بعفوك .. ولا تطيب الجنة إلا برويتك

"الله جل جلاله"

إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة .. ونصح الأمة ..إلى نبي الرحمة ونور العالمين

"سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم"

أهدي عملي و أتوج نجاجي إلى أعلى ما لدي في هذه الحياة إلى من سمرا على راحتي

في أيام شدتي و إلى من منحني الحياة و عبدا لي الطريق في هذه الدنيا إلى رمز

التضحية و الوفاء والدي العزيزين أطال الله في عمرهما

إلى من تربيته معهم إلى إخوتي : ناصر أمين و إلى أخواتي : عائشة أمينة والى

الكتكوت رونق وإلى الغالية شيما

إلى من رافقتني في رحلة هذا البحث : نضيرة

إلى كل الأقارب و الأصدقاء

إلى من أنار لي الطريق في سبيل العلم ' إلى أساتذتي الكرام

إلى دفعة M2 GE

إلى كل من ترك أثرا طيبا في حياتي

عزيزي

Résumé

Les échangeurs de chaleur ont acquis une importance économique majeure. On estime que presque toute l'énergie thermique produite transite au moins une fois par un échangeur. Ce travail qui s'inscrit dans le cadre de notre projet de fin d'études a pour objectif d'étudier l'échangeur codé par E05 existant au niveau de PHASE A, champs de RHOURDE NOUSS Wilaya de ILIZI ; dont sa fonction est le préchauffage d'alimentation de la stabilisation.

Le travail abordé est un calcul de vérification de sa surface d'échange ainsi que ses performances afin de prodiguer les meilleures recommandations possibles visant l'amélioration de l'exploitation et la durée de vie de cet échangeur.

Mots clé : échangeur de chaleur, énergie thermique, E05, surface d'échange.

ملخص

اكتسبت المحولات الحرارية أهمية اقتصادية كبيرة، نتوقع أن كمية الطاقة الحرارية الناتجة تتحول على الأقل مرة واحدة عن طريق محول حراري، وعلى إثر هذا، الدراسة الحالية تركز على تطويرا لمساحة والشكل الهندسي للمحول الحراري قادرة على تحقيق خدمة حرارية مطلوبة من طرف الزبون. مما يعني اختراع جهاز يكون اقتصادي.

في السنوات الأخيرة، الاحتياجات للمحولات الحرارية ارتفعت والرهان الاقتصادي في الطاقة أدى إلى مضاعفة الأبحاث حول تحسين التحول الحراري وهكذا بمرور الوقت، أصبحت المحولات الحرارية أكثر جودة.

في هذه الدراسة المتواضعة، اهتمنا بحساب التحقق لمحول حراري مرقم بE05 ، المتواجد على مستوى المنطقة A. حقل غرد النص ولاية اليزي. تتجلى وظيفته هي قبل التسخين للثبات.

الكلمات المفتاحية: محول حراري، الطاقة الحرارية، E05

Abstract

Heat exchangers have acquired a major economic importance. It is estimated that almost all the thermal energy produced passes through at least once through an exchanger and for this purpose the present study is based on the evaluation of a surface and geometry capable of performing a required thermal service by the customer. It is then proposed the most economical device.

In recent years, the increasing need for exchanger use and the desire to save energy have led to an increase in research on the improvement of exchangers, and over time, heat exchangers have become more efficient.

In this modest study, we were interested in the calculation of verification of a heat exchanger,

Encoded by E05 existing at the PHASE a level, fields of RHOURDE NOUSS Wilaya of ILIZI; whose function is the stabilization feed preheating.

Key words: Heat exchanger, the thermal energy,E05.

Nomenclature

Symboles	Spécification	Unité
A	Surface d'échange	m^2
a_t	Surface d'échange d'un tube	m^2
a_{CT}	Section par calandre	m^2
C_{pc}	Chaleur spécifique de fluide chaud	$J/kg\ ^\circ C$
C_{pf}	Chaleur spécifique de fluide froid	$J/kg\ ^\circ C$
D_c	Diamètre de la calandre	m
D_e	Diamètre équivalent	m
d_{ext}	Diamètre extérieur des tubes	m
d_{int}	Diamètre intérieur des tubes	m
DTLM	Différence de température logarithmique moyenne	$^\circ C$
E_c	Epaisseur de la calandre	m
e_p	Epaisseur de la plaque tubulaire	m
f	Facteur de correction	/
F	Facteur de friction	/
G	Vitesse massique	kg/m^2s
h_i	coefficient de film interne	$J/m^2s\ ^\circ C$
h_{io}	coefficient de film interne rapporté à la surface extérieure	$J/m^2s\ ^\circ C$
h_o	coefficient de film externe	$J/m^2s\ ^\circ C$
j_h	coefficient de COLBURN	/
U_p	Coefficient de transfert propre	$W/m^2\ ^\circ C$
U_s	Coefficient de transfert sale calculé	$W/m^2\ ^\circ C$
U'_s	Coefficient de transfert sale	$W/m^2\ ^\circ C$
L	Longueur des tubes	m
L_{tirant}	Longueur de tirant	m
L_n	Longueur d'entretoises	m
B	Espace entre chicanes	m
\dot{m}_c	Débit massique de fluide chaud	kg/s
\dot{m}_f	Débit massique de fluide froid	kg/s
N_c	Nombre des chicanes	/
N_t	Nombre des tubes	/
N_{tirant}	Nombre des tirants	/
n_c	Nombre de passe coté calandre	/
n_t	Nombre de passe coté tube	/
P	Pas des tubes	m
Re	Nombre de Reynold	/
R_s	résistance d'encrassement	$(m^2.s\ ^\circ C)/J$

t_c	Température calorique de fluide froid	°C
T_c	Température calorique de fluide chaud	°C
t_t	Température de tube	°C
T_{ce}	Température d'entrée de fluide chaud	°C
T_{cs}	Température de sortie de fluide chaud	°C
T_{mc}	température moyen de fluide chaud	°C
T_{mf}	température moyen de fluide froid	°C
T_{fe}	température d'entrée de fluide froid	°C
T_{fs}	température de sortie de fluide froid	°C
TEMA	tubulaire exchanger manufacture association	/

Symboles grecques :

Φ	Flux de chaleur	W
φ_t	Coefficient de correction	/
ρ	Masse volumique	kg/m ³
μ	Viscosité	Kg/m.s
η	Rendement	/
ΔP	Perte de charge	Bar
ΔT	Différence de température	°C

Les indices :

c: chaud

e: entée

f: froid

s: sortie

t: tube

CT: calandre

Liste des figures :

Figure I.1 : Situation géographique de RHOUDRE NOUSS.....	3
Figure I.2 : Historique des découverts.....	5
Figure I.3 : Organisation de la direction de RHOUDRE NOUSS.....	6
Figure I.4 : Schéma global du complexe des deux usines de traitement de gaz la phase A et la phase B.....	8
Figure I.5: Organigramme de la division maintenance.....	15
Figure II.1: Condenseur	21
Figure II.2: Evaporateur	22
Figure II.3: Echangeur Co-courant	23
Figure II.4 : Echangeur contre courant	23
Figure II.5 : Echangeur a courant croisée	24
Figure II.6 : Echangeur à courant croisées méthodique.....	24
Figure II.7 : Echangeur à courant croisées anti- méthodique.....	25
Figure II.8 : Compacité des échangeurs.....	26
Figure II.9 : Echangeur a deux fluides	26
Figure II.10 : Echangeur a trois fluides.....	26
Figure II.11 : Echangeur mono tube.....	29
Figure II.12 : Echangeur coaxial.....	30
Figure II.13 : Echangeur à tube séparé.....	30
Figure II.14: Echangeur à tube rapproché	31
Figure II.15 : Echangeur à tube ailetés	31
Figure II.16 : Echangeur à tube et calandre	32
Figure II.17 : Calandre	33
Figure II.18 : Faisceau tubulaire.....	34
Figure II.19 : Disposition des tubes du faisceau.....	34
Figure II.20 : Échangeur à tubes et calandre : principales technologies à boîte fixe, boîte flottante et à tubes en U.....	35
Figure II.21 : Chicanes transversales et longitudinales	35
Figure II.22 : Plaque tubulaire	36
Figure II.23 : Tirants et entretoises.....	37
Figure II.24 : Echangeur à plaque tubulaire fixe.....	38
Figure II.25 : Echangeur avec tube en U.....	38

Figure II.26 : Echangeur à tête flottante	39
Figure II.27 : Echangeur à surface primaire.....	40
Figure II.28 : Echangeur à plaque et joint	41
Figure II.29 : Echangeur à plaques soudées ou brasées.....	41
Figure II.30 : Echangeur à spirale.....	42
Figure II.31 : Echangeur brasé	42
Figure II.32 : Echangeur à plaques brasées.....	43
Figure II.33 : Classification des échangeurs selon la norme TEMA.....	44
Figure III.1 : Encrassement de l'échangeur de chaleur	46
Figure III.2 : dépôt la tarte formée sur les faisceaux tubulaires de l'échangeur de chaleur...48	
Figure III.3 : Nettoyage mécanique.....	50
Figure III.4 : Nettoyage chimique	51
Figure III.5 : Corrosion.....	51
Figure III.6 : Corrosion uniforme d'une chicane en acier.....	52
Figure IV.1: Schéma générale de la partie BP (basse pression).....	56
Figure IV.2 : Schéma de l'échangeur E05 à tête flottante.....	57
Figure IV.3. Faisceau tubulaire (photo réelle).....	58
Figure IV.4 Calandre (photo réelle).....	58
Figure IV.5. Boite de distribution (photo réelle).....	60
Figure V.1 : Schéma de l'installation de l'échangeur existant E05.	69

Liste des tableaux :

Tableau I.1 : Opérations de service mécanique industriel.....	20
Tableau IV.1 : Caractéristiques techniques de l'échangeur E05.....	57
Tableau IV.2 : Caractéristiques techniques de plaques tubulaires de l'échangeur E05.....	59
Tableau IV.3 : Caractéristiques techniques des tirants de l'échangeur E05.....	59
Tableau IV.4 : Caractéristique techniques des entretoises de l'échangeurE05	59
Tableau IV.5 : Caractéristique techniques de la boîte de distribution.....	60
Tableau V.1 : Propriétés thermo physiques des deux fluides de l'échangeur E05.....	68
Tableau V.2: Propriétés mécaniques de l'échangeur E05.....	68
Tableau V.3: Caractéristiques thermo physiques des deux fluides à T_c et t_c	72
Tableau V.3 : Résultats du calcul et de la fiche technique.....	75

Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Sommaire	
Nomenclature	
Introduction	1
Chapitre I : Description du complexe gazier de RDN	
Introduction.....	3
I.1.présentation du champ de RHOURE NOUSS	3
I.1.1.Situation géographique	3
I.1.2.Historique des découverts.....	5
I.1.3.Organisation de la direction de RDN.....	6
I.1.4. Description générale des installations de production et des procédés.....	6
I.1.4.1. Charges et produits.....	6
I.1.4.2. Réseaux collectes	7
I.1.4.3. Activités.....	7
I.2. Description générale de l’usine de traitement phase A.....	8
I.2.1.Objectif de l’usine.....	8
I.2.2.Capacité de traitement et de production.....	8
I.2.2. Unités de l’usine phase A.....	8
I.3.Les différents division de la direction	10
I.3.1.Division engineering et production (EP)	10
I.3.2.Division exploitation	11
I.3.3.Division sécurité	12
I.3.4.Division approvisionnement et transport.....	13
I.3.5.Division maintenance	13
I.3.5.1.Organisation de la division maintenance	14
I.3.6.Division personnel	15
I.3.7.Division finance	16
I.3.8.Division réalisation	16

I.3.9.Division intendance.....	17
I.4.Description du procès d'un train de traitement de gaz.....	17
I.4.1.Circuit gaz.....	17
I.4.2.Circuit stabilisation condensat	17
I.5.Sécurité	19
I.5.1.Définition.....	19
I.5.2. Organisation de la sécurité	19
I.6. Types d'opérations à réaliser par le service mécanique industriel.....	20
Conclusion.....	20

Chapitre II : Généralités sur les échangeurs

Introduction.....	21
II.1.Classes d'échangeurs de chaleur.....	21
II.1.1.Echangeurs et les réfrigérants.....	21
II.1.2.Econdenseurs.....	21
II.1.3.Evaporateurs.....	22
II.2.Critère de classement d'échangeurs de chaleur.....	22
II.2.1.Classification selon le mode de circulation.....	22
II.2.1.1.Echangeur à courant parallèles.....	22
II.2.1.2.Echangeur à contre courant.....	23
II.2.1.3.Echangeur à courant croisées.....	23
II.2.2.Classement fonctionnel.....	25
II.2.3.Classement suivant la compacité de l'échangeur.....	25
II.2.4.Classement selon le nombre de fluide.....	26
II.2.5.Classement suivant la nature de matériau de la paroi d'échange.....	27
II.2.6.Classification selon le contact.....	27
II.2.6.1.Echangeur à mélange	27
II.2.6.2.Echangeur à surface.....	27
II.2.7.Classement selon le mode de transfert de chaleur.....	27
II.2.8.Classement suivant le procédé de transfert de chaleur.....	27
II.2.9.Classement suivant la fonction de l'échangeur.....	27
II.2.10.Classification par .mode de conception.....	29
II.2.10.1.Echangeurs tubulaires.....	29

II.2.10.2.Echangeurs à plaques.....	39
II.2.10.3.Norme TEMA.....	43
Conclusion.....	45

Chapitre III : Problèmes de fonctionnement des échangeurs de chaleur.

III.1.Problèmes de fonctionnement.....	46
III.1.1.Encrassement.....	46
III.1.2.Corrosion.....	51
III.1.3.Vibration.....	55

Chapitre IV : Description de l'échangeur étudié E05.

Introduction.....	56
IV.1.présentation de l'échangeur de chaleur E05.....	56
IV.2.Description de l'échangeur E05.....	57
IV.2.1.Mode de fonctionnement.....	57
IV.3.Caractéristiques techniques de l'échangeur E05.....	57
IV.4.Caractéristiques mécaniques de l'échangeur E05.....	58
Conclusion.....	60

Chapitre V : Calcul de vérification de l'échangeur de chaleur E05

Introduction.....	61
V.1.Principe du calcul.....	61
V.2.Calcul d'un échangeur de chaleur faisceau et calandre.....	61
V.3.Calcul thermique de vérification des performances.....	68
V.3.1.Caractéristiques thermo physiques de deux fluides de l'échangeur E05.....	68
V.3.2.Caractéristiques mécaniques de l'échangeur E05	68
V.3.3.Vérification de design des échangeurs	69
V.4.Calcul thermique.....	69
V.5.Calcul hydraulique.....	74
V.5.1. Perte de charge cotée faisceau	74

V.5.2. Perte de charge cotée calandre	75
V.6. Tableau récapitulatif des résultats	75
Conclusion.....	76
Conclusion générale.....	77

Introduction

SONATRACH est la compagnie nationale pour la recherche, la production, l'exploitation, le transport par canalisation, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés. Elle intervient également dans d'autres secteurs tels que la génération électrique, les énergies nouvelles et renouvelables et le dessalement de l'eau de mer. Elle exerce ses métiers en Algérie et partout dans le monde où des opportunités d'investissement se présentent.

Les échangeurs thermiques ont toujours eu de nombreuses applications majoritairement dans l'industrie mais également dans l'habitat ou dans le transport. A titre d'information, 30% des équipements des unités pétrochimiques sont constitués d'appareils d'échange de chaleur. Il est devenu de plus en plus indispensable de posséder des informations complètes sur l'état des procédés industriels de récupération d'énergie à tout instant. Ces renseignements permettraient de déceler, de suivre et de prédire les perturbations et les dégradations du transfert thermique et en même temps d'éviter une augmentation certaine de destruction de la couche d'ozone.

Pour l'industrie pétrolière, les échangeurs de chaleur constituent un composant essentiel, surtout pour le traitement du pétrole brut ou la distillation atmosphérique de ce dernier constitue l'unité de base d'une raffinerie du pétrole. Si l'on veut assurer une bonne rentabilité de ces unités de production dont le rendement dépend la plupart du temps du bon état de surface des échangeurs, il est impératif d'apporter le meilleur soin au suivi de leur état.

Ce travail qui s'inscrit dans le cadre de notre mémoire de fin d'études a pour thème « **Etude thermique de l'échangeur de chaleur à faisceau et calandre E05 existant au complexe gazier de RHOURE-NOUSS (SONATRACH- Algérie)** ».

L'objectif de ce travail est d'étudier cet échangeur et vérifier sa surface d'échange ainsi que ses performances afin de prodiguer les meilleures recommandations possibles visant l'amélioration de l'exploitation et la durée de vie de cet échangeur.

La réalisation de ce travail a été faite au niveau du site de **RHOURE NOUSS** (SONATRACH- Algérie) afin d'améliorer notre connaissance pratique sur les échangeurs de chaleur à faisceau et calandre et consiste au calcul de vérification d'un échangeur de chaleur

utilisé dans ce site sous le code de E05 pour lequel on essayera de vérifier les conditions de fonctionnement données par le design sur le plan réel.

Notre travail mené dans ce projet de fin d'étude a été enchaîné de la façon suivante :

- ✓ Dans le premier chapitre de ce mémoire, on présente le complexe gazier de RDN, Wilaya d' Illizi, Algérie.
- ✓ Le second chapitre est réservé pour la présentation d'une vue générale sur les échangeurs de chaleur utilisés dans l'industrie.
- ✓ Le troisième chapitre est consacré aux problèmes de fonctionnement des échangeurs de chaleur.
- ✓ Le quatrième chapitre consiste à une description technologie détaillée de l'échangeur étudié codé par E05 existant au niveau de **RDN** (SONATRACH- Algérie).
- ✓ Le cinquième chapitre est réservé pour la présentation de calcul de vérification de l'échangeur existant en appliquant les différentes méthodes de calcul à savoir la méthode de KERN et/ou DONOHUE afin de vérifier les performances de cet appareil.
- ✓ Enfin, notre travail est achevé par une conclusion générale qui résume les principaux résultats obtenus et quelques perspectives futures qui peuvent être traitées par la suite.

Introduction : [1]

L'usine de RHOURE-NOUSS reçoit du gaz naturel riche d'hydrocarbures lourds en provenance des puits producteurs et récupère les condensats liquides et le GPL.

Le gaz résidu est partiellement commercialisé ; la plus grande partie est réinjectée dans les puits afin de maintenir la pression nécessaire pour l'extraction successive des hydrocarbures lourds contenus dans le gisement et pour entretenir le gaz non utilisé.

En effet ce stage nous avons rapprochés d'avantage du milieu pratique du travail à savoir :

- l'organisation de l'entreprise SONATRACH division production et plus particulièrement la direction maintenance.
- Missions assignées à la direction maintenance.
- Taches affectées à ses différentes structures opérationnelles (sur tout service mécanique industriel).
- Procédures de travail.
- Mesures de sécurité nécessaires pour la réalisation des travaux pour la préservation du personnel et des équipements de l'installation.

I.1. Présentation du champ de RDN :

I.1.1. Situation géographique :

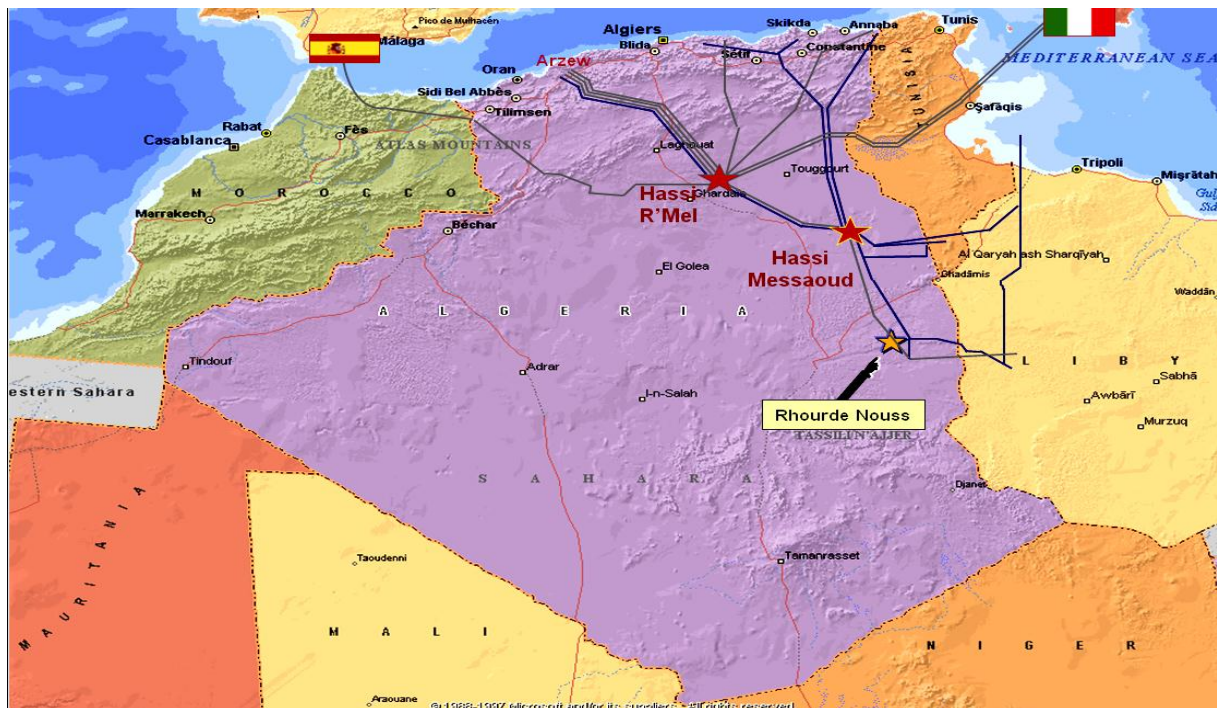


Figure I.1 : Situation géographique de RDN [12].

- La région de RDN fait partie de la Willaya d'ILLIZI.

Elle est située à 350 km au Sud/Sud-est d'OUARGLA, à 1200 km au Sud/Sud-est d'ALGER et à 270 km au Sud/Sud-est de HASSI MESSAOUD. Elle est reliée à la route nationale N3 (OUARGLA-ILLIZI) par une bretelle de 30km goudronnée.

- L'altitude moyenne est située à 275m par rapport au niveau de la mer.
- Son climat est désertique (sec avec un très faible taux d'humidité).
- La température maximale est de 50°C à l'ombre en été.
- La température minimale est de 2 à 3°C.
- Elle enregistre une pluviométrie très faible (2 à 4 mm/an).
- Les vents dominants sont de direction Nord/Est avec une vitesse maximale de 70 à 80 km/h pendant la période de vents de sable (Février/Mars).
- La Direction Régionale de RHOUDRE NOUSS se trouve à la lisière de l'ERG ORIENTAL avec une alternance de HAMADA (ou GASSI) et d'ERG (ou SIOUF) de direction généralement Nord/Sud.

La région de RDN est composée de plusieurs champs (Gisements) sur un rayon de 100 km par rapport au siège de la direction régionale qui est situé sur le champ de RDN Centre, les principaux champs mis en exploitation sont :

- Champ de RHOUDRE NOUSS
 - Champ de RHOUDRE ADRA
 - Champ de RHOUDRE CHOUFF
 - Champ de RHOUDRE HAMRA
 - Champ de HAMRA
- D'autres champs, de moindre importance, ont été découverts et seront développés dans le futur, il s'agit de :
- Champ de RHOUDRE HAMRA-Sud-est.
 - Champ de RHOUDRE NOUSS 3.
 - Champ de MOUILEH
 - Champ de MEKSEM
 - Champ de DRAA ALLAL.
 - Champ d'ELKETAIA.
 - Champ de RHOUDRE ADRA Sud-est.

I.1.2. Historique des découvertes :

STRUCTURES	ANNEE	PUITS	RESERVOIRS	EFFLUENTS
HAMRA	1956	HR2	TRIAS+Q.HAMRA	GAZ+COND
R.NOUSS	1962 - 1963	RN1 - RN4	TRIAS+GOT+Q.HAMRA	GAZ+COND+HUILE
R.CHOUFF	1963	RC1	TRIAS	GAZ+COND
R.ADRA	1964	RA1	TRIAS+GOT+D.MEKR+Q.HAMRA	GAZ+COND
R.ELHAMRA	1971	RHA1	TRIAS	GAZ+COND
R.NOUSS SE	1972	RNSE1	TRIAS+GOT+Q.HAMRA	GAZ+COND+HUILE
R.NOUSS SW	1973 - 1974	RNSW1	TRIAS	GAZ+COND
MEKSEM	1975	MKS1	TRIAS+Q.HAMRA	GAZ+HUILE
EKTAIA	1976	EKT1	TRIAS+D.MKRATTA	HUILE
DRAA ALLAL	1978	DRA1	TRIAS	GAZ+COND
EL MOUILAH	1980	EMH1	TRIAS	HUILE
R.ADRA SUD	1982	RAS1	TRIAS+Q.HAMRA	GAZ+COND

Figure I.2 : Historique des découvertes [1].

- **Dates et faits marquants :**

- 10-Mai-1966 : Mise en service du centre de traitement d'huile.
- 28-Jan-1988 : Démarrage de l'usine phase A.
- 14-Juin-1989 : Mise en service de RHOUDRE ADRA.
- 24-Avril-1992 : Mise en service de RHOUDRE HAMRA.
- 29-Mai-1992 : Mise en service de RHOUDRE CHOUFF.
- 16-Juin-1995 : Démarrage de l'usine de HAMRA.
- 23-Mai-1996 : Première expédition de GPL (HAMRA).
- 13-Août-1999 : Mise en service du cinquième train.
- 24-Fév-2000 : Démarrage usine GPL.
- 06-Mars-2000 : Première expédition de GPL (RDN).

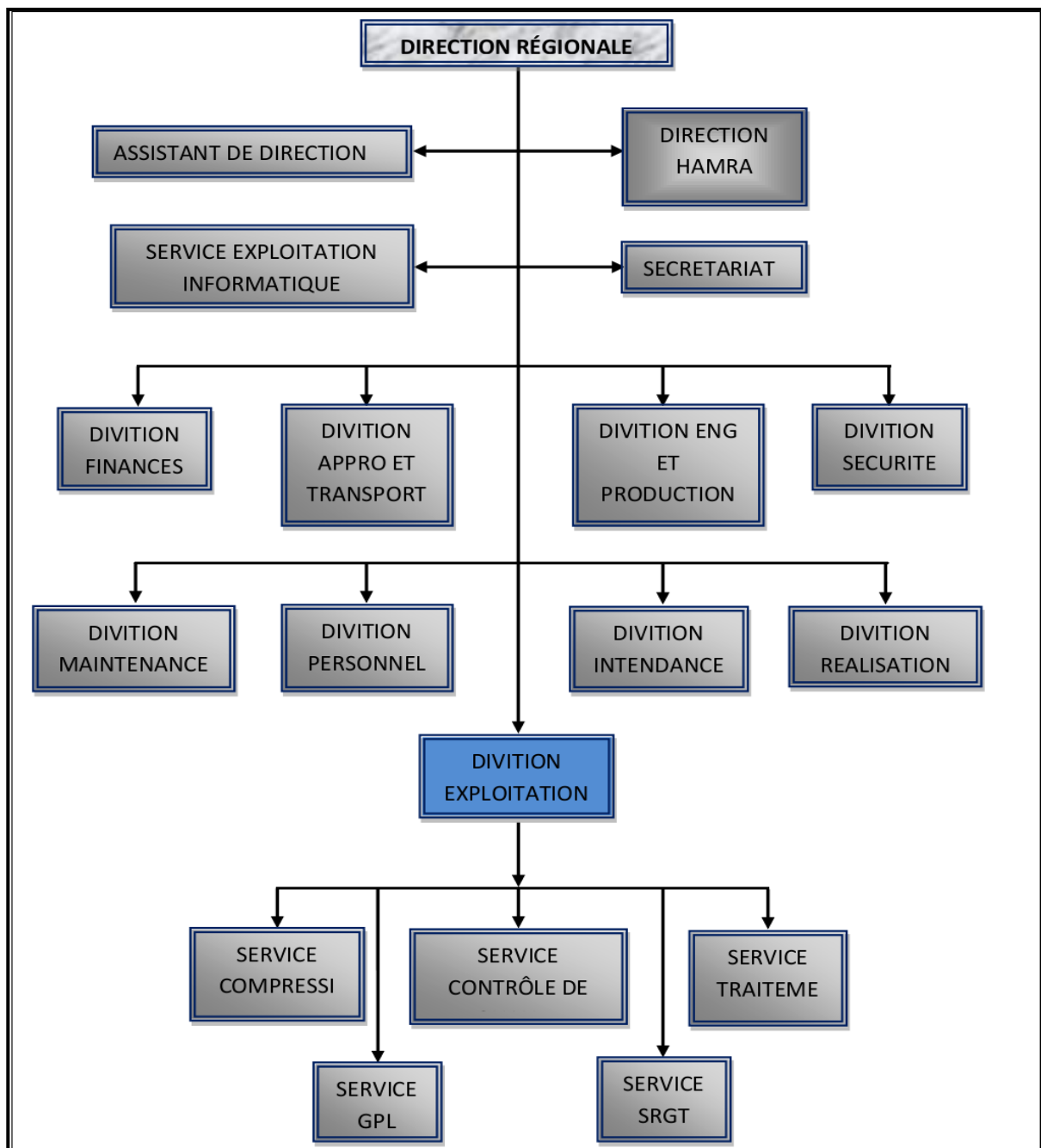
I.1.3 : Organisation de la direction de RDN:

Figure I.3 : Organisation de la direction de RHOUDRE NOUSS [12].

I.1.4. Description générale des installations de production et des procédés:***I.1.4.1 : Charges et produits :***

La capacité globale de RHOUDRE NOUSS est portée à :

- Gaz brut : 50 millions Sm³/j.
- Réinjection : 75% environ, soit 32 millions Sm³/j gaz sec.

- Commercialisation : 20 millions Sm³/j.
- GPL : 3986 T/j.
- Condensât : 3000 T/j.
- Pétrole brut : 500T/j.

I.1.4.2 : Réseaux collectes :

Cette production est assurée par un certain nombre de puits producteurs et injecteurs de gaz, un ensemble de collectes et manifolds.

- Puits producteurs de gaz : 76.
- Puits injecteurs de gaz : 36.
- Puits d'huile : 36.

I.1.4.3 : Activités :

La région de RHOURE NOUSS est à vocation principalement gazière. Elle est dotée quatre Usines de traitement de gaz :

- **Usine phase A (démarrage 1987)** : Traitement de 51 million Sm³/j pour récupérer le condensât, et d'une unité de compression pour le recyclage du gaz.

- **Usine phase B (démarrage 1999)** : Traitement de 48.3 million Sm³/j pour récupérer le GPL, et les traces du condensât.

- **Usine CSC (démarrage 2011)** : Centre de compression et de séparation pour la production.

- **Usine CPF** : Centre de traitement de 10 million Sm³/j pour récupérer le CO₂.

Elle produit sa propre énergie électrique au moyen d'une centrale électrique de 21 MW et un apport à partir de HAMRA (ligne de 60km).

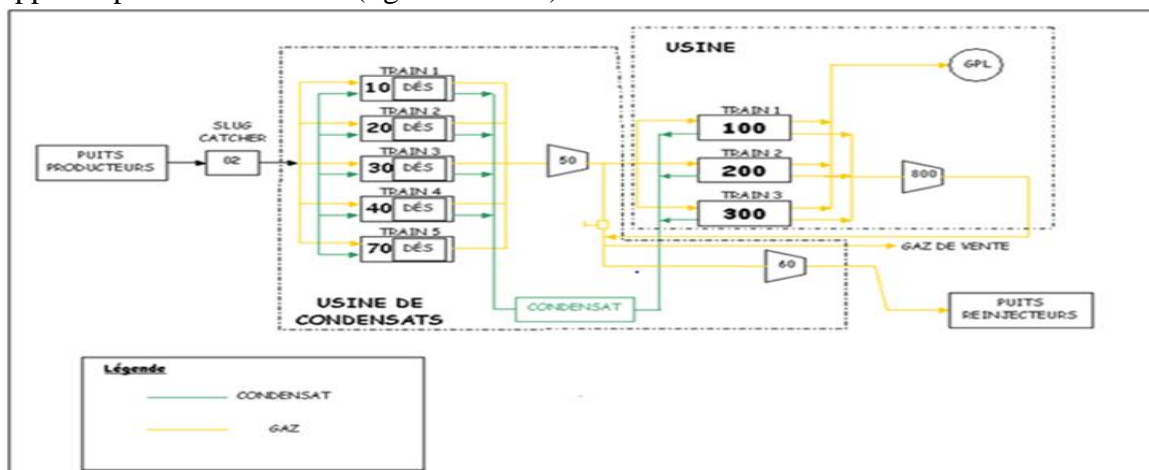


Figure I.4 : Schéma global du complexe des deux usines de traitement de gaz la phase A et la phase B [1]

I.2 : Description générale de l'usine de traitement phase A:

I.2.1 Objectif de l'usine :

Cette usine a pour but de traiter le gaz naturel afin de récupérer le maximum du condensât, et assurer la compression de gaz vers l'usine B et recyclage de gaz de réinjection et d'expédition.

I.2.2 Capacité de traitement et de production :

Capacité de traitement 50 Millions Sm³/j (gaz brut).

Capacité de production 3000T/j (condensât).

I.2.2 : Les unités de l'usine phase A:

L'usine est constituée principalement des unités suivantes :

- Unité 02 : unité commune de séparation préliminaire.
- Unités 10/20/30/40 et 70 : trains de traitement de gaz.
- Unité 80 : unité de production d'air.
- Unité 83 : unité de stockage.
- Unité 82: unité de fuel gaz.
- Unité 84 : unité de production d'eau potable et eau de service.
- Unité 85 : unité de traitement des eaux huileuses.
- Unité 86 : unité de production.

A. Partie haute pression (HP):

Le gaz de collecteurs venant du ballon séparateur 02V01A alimente les cinq trains.

La pression est maintenue à la valeur 76 kg/cm² ; la température est 54°C, le débit est mesuré par FR-30.

Le gaz d'alimentation est ensuite pré refroidi à 28°C par l'échangeur E-02.

Le condensât obtenu est séparé dans le V-01 et elle est envoyée au séparateur V-06 avec le liquide obtenu en V-05.

L'eau est accumulée sur le fond de V-01 et envoyée vers l'unité U-82.

Le gaz à haute pression de séparateur V-01 est envoyé aux sécheurs de gaz brut A-01 A/B/C ou il y a les tamis moléculaires qui déshydratent le gaz .

Le gaz subit ensuite un refroidissement sous un train d'échange constitué par deux échangeurs E-01 et E-03 de cette manière le gaz riche est refroidi à environ 8°C en produisant une certaine quantité de condensât qui est séparé en V-03.

Le gaz de séparateur V-03 alimente directement le turbo-expander TK-01 à la pression de 72 kg/cm² et à température de 8°C.

Le turbo-expander TK01 (compresseur détendeur) réalise une chute de pression d'environ 20 kg/cm² en refroidissant à (-9°C) et en produisant une grande partie de gazoline.

Le mélange bi phasique est séparé dans le ballon V-04, le gaz froid sortant de ce ballon entrant au train à travers l'échangeur E-01, ensuite E-02 avant d'être comprimé au niveau du turbo-expander, où il aura une pression de 56 bars. Ce dernier alimente l'unité de compression (U-50).

B. Partie basse pression (BP):

Afin de stabiliser le condensât, le liquide sera chauffé dans l'échangeur E-06 où il aura une température de 62°C avant de passer dans le ballon séparateur V-08.

Au moyen des pompes P-01 A/B, le condensât non stabilisé est pompé du ballon V-08 vers la colonne de stabilisation C-01, en passant par les filtres S-05 A/B (pour éliminer les impuretés) ensuite par le coalescer S-04 (pour éliminer l'eau).

Une partie du condensât passe par l'échangeur E-05 pour avoir une température de 162°C alimente la colonne C-01 comme alimentation chaude au niveau du 20^{ème} plateau, et l'autre partie alimente directement la colonne au niveau du 13^{ème} plateau en tant qu'alimentation froide.

Une partie du condensât est aspiré du fond de la colonne au moyen des pompes P-03 A/B/C (deux en service et une en stand-by) et est pompée vers le four F-02 où elle sera chauffer jusqu'à une température de 230°C pour être envoyer vers la colonne (rebouillage).

Les vapeurs de tête sont refroidis par les aéroréfrigérants EA-03 A/B/C ensuite par l'échangeur E-07 avant de passer dans le ballon V-09 (ballon de reflux).

Le liquide du ballon V-09 est aspiré par les pompes P-02 A/B et est refoulé sur le 1^{er} plateau en tant que reflux froid.

Les gaz récupérés au niveau des ballons V-05, V-06, V-08 et V-09 et de coalescer S-04 sont collectés et envoyés vers le ballon V-07 (ballon de gaz lourd).

Le gaz sortant du V-07 à travers une section de déshydratation constituée de trois sécheurs à tamis moléculaires, dont 1 en adsorption, le 2^{ème} en régénération et le 3^{ème} en stand-by.

La teneur en eau dans le gaz déshydraté ne doit pas dépasser 1 PPM.

Ce gaz passe ensuite par les filtres S-03 A/B afin d'éliminer les particules du tamis entraînés avant d'être envoyé vers l'unité de compression (U-50).

Le condensât stabilisé soutiré du fond de la colonne est refroidi par l'échangeur E-05, ensuite par l'échangeur E-06, ensuite par les aéroréfrigérants EA-02 A/B/C et enfin par l'échangeur E-04 A/B où le condensât aura une température de 35°C.

Le condensât stabilisé sortant des trains ($TVR \leq 10$ psi et densité $\approx 0,73$) est collecté et est envoyé vers l'unité U-83 (stockage).

L'unité 82 a pour but de produire le gaz combustible pour alimenter :

- les turbines de lancement des turbines à gaz (21 kg/cm^2)
- les chambres de combustion des turbines à gaz (17 kg/cm^2)
- les fours ($3,5 \text{ kg/cm}^2$)
- la base de vie (17 kg/cm^2)
- maintien de flamme des torches et bournier (3.5 kg/cm^2)

I.3. Les différentes divisions de la direction :

I.3.1. Division engineering et production (EP) :

La mission principale de la division EP c'est l'exploitation des gisements à travers les actions entreprises par ces différents services à savoir :

- Suivi des études de recherches et développement des champs.
- Suivi des opérations de forages et installation des équipements de fond et de surface
- Assurer l'extraction et transport de produits (par pipelines) vers les unités de traitement.
- Suivi des opérations de raccordements et opérations de réparations :
 - Raccordements des nouveaux puits aux collecteurs.
 - Réparations des percements sur lignes corrodées.
- Suivi des opérations de maintenance et cimentation.
- Suivi et analyse de relevés des paramètres d'exploitation des puits.
- Suivi, analyse et suggestion de solution pour correction de la richesse.
- Suivi et analyse du rapport d'inspection et corrosion relatif aux relevés de mesures d'épaisseurs sur les collecteurs et entreprendre les actions qui s'imposent avec les structures concernées.
- suivi et analyse des débits d'injection et comportements des inhibiteurs de corrosion sur les différents champs.
- Ouverture ou fermetures des puits pour :
 - Soit pour exploitation.
 - Soit pour permettre l'exécution d'une opération de maintenance ou réparation de manchettes suite à une attaque corrosive [percements]

Enrichissement, actualisation et élaboration des anciennes et nouvelles procédures d'interventions et d'exploitation des champs.

I.3.2. Division exploitation :

La mission principale de la Division XP c'est l'exploitation des complexes de traitement des produits Gaz, GPL et brut par l'exécution des tâches suivantes :

- Assurer le traitement de ces produits.
- Assurer l'expédition des produits traités vers les centres de stockage de :
 - HAOUD EL HAMRA pour le condensât et huile.
 - HASSI - R'MEL pour le Gaz et GPL
- Veiller au suivi et contrôle de relevés des paramètres d'exploitation des unités de traitement
- Veiller à l'exploitation rationnelle des installations pour un régime optimum.
- Signalisation de toutes anomalies sur équipements ou logiciels d'exploitation aux structures concernées pour interventions et réparations.
- Etude et élaboration des DMI [Demande de modification industrielle].
- Participation à l'élaboration des PMTE des grands travaux de maintenance.
- Suivi des études de revamping des unités et ou nouvelles installations de traitement relatif au développement du champ.
- Enrichissement et Actualisation ainsi élaboration des anciennes et nouvelles procédures d'exploitation des unités de traitements.
- Elaboration des prévisions de production annuelle des différents produits.
- Veiller à la réalisation d'objectif de production de la direction régionale.

I.3.3. Division sécurité :

La mission principale de la division SE c'est de veiller à assurer l'exécution des tâches citées ci après :

- Veiller à assurer la sécurité des individus et installations, avant et pendant toutes interventions aux niveaux des installations de champs et complexes de traitement par la communication, sensibilisation et obligation des intervenants à se conformer aux consignes énumérées ci-dessous :
 - Utilisation des moyens adéquats et outillage ADF.
 - Respect des consignes de sécurité et exploitation.
 - Port des équipements de protection individuel.
 - Contrôle des véhicules et engins avant toute pénétration à l'intérieur des installations pour intervention.
- Conseiller et veiller au respect de l'environnement et hygiène (santé).

- Assurer la supervision des travaux aux niveaux des installations et champs.
- Suivi et exploitation du réseau anti-incendie.
- Suivi de l'exécution des essais hebdomadaires sur équipements stratégiques de lutte contre les incendies.
- Exécution des exercices de simulation de lutte contre les incendies.
- Organisation et exécution de visites inopinées d'inspections du patrimoine de la direction régionale.
- Coordonner les travaux de la commission HSE.
- Elaboration des rapports d'accidents et ou incidents.
- Gestion du parc de rebuts.
- Sensibilisation du personnel pour une réduction des nombres d'accidents et ou incidents par le biais des actions suivantes :
 - Affichage de courriers relatifs aux flashes info et ou études.
 - Exécution des briefings quotidiens pendant les événements des grands travaux
- Participer aux projets de développement du site.
- Enrichissement et actualisation ainsi élaboration des anciennes et nouvelles procédures d'interventions.
- Représenter la direction régionale auprès des directions HSE du groupe SONATRACH et organismes d'état à savoir :

1.3.4. Division approvisionnement et transport:

La mission principale de la division AT c'est de veiller à assurer l'exécution des tâches suivantes :

- Elaboration et suivi des requêtes d'achat relatives aux approvisionnements en pièces de rechange, matériel et outillage.
- Approvisionnement du personnel en tenues de travail et équipements de protection individuels.
- Gestion, préconisation en PR et maintenance du parc roulant.
- Gestion des stocks du matériel consommable et amortissable.
- Suivi et réalisation des inventaires annuels du matériel consommable et amortissable.
- Assurer le transport du personnel.
- Gestion et maintenance du parc roulant.

- Participation à la réalisation des objectifs de la direction régionale par la préparation des moyens de manutention et PR aux événements importants relatifs aux grands travaux.

1.3.5. Division maintenance :

La mission principale de la division MN c'est de veiller à assurer le bon fonctionnement des équipements et machines des installations à travers les tâches suivantes :

- Exécution des programmes de maintenance préventifs et curatifs relatifs aux entretiens mécanique, électriques et d'instrumentation.
 - Elaboration de cahiers des charges et contrats pour la préconisation en pièces de rechanges et assistance technique pour l'exploitation des systèmes de contrôle.
 - Etude et analyse des pannes fréquentes sur équipements stratégiques ayant un impact direct sur la production et proposition de modification à réaliser pour une réduction du nombre d'interventions
 - Suivi des fonctionnements de machines et équipements et suggestion de solutions d'amélioration en vue d'exploitation rationnelle pour un régime optimum.
 - Suivi et analyses des produits bruts des différents champs.
 - Suivi de l'injection et comportement des inhibiteurs de corrosion.
 - Suivi et analyse vibratoire des machines tournantes.
 - Suivi de la gestion des stocks des PR.
 - Suivi des mesures d'épaisseurs des installations de surface et points critiques des unités de traitement dans le cadre de la lutte contre la corrosion.
 - Suivi et analyses des prises de potentiel de protection cathodique.
 - Maintenance des systèmes de contrôle des paramètres d'exploitation des unités de traitement et réseau anti-incendie.
 - Etalonnage des instruments de contrôle, synchronisation des vannes de régulation et tarage des soupapes de sécurité.
 - Elaboration et suivi de réalisation du PMTE [des grands travaux de maintenance].
 - Exploitation d'une centrale électrique par la production et distribution d'énergie.
- Participation à la réalisation des objectifs prévisionnels de la direction régionale par l'exécution des grands travaux relatifs aux :
- Arrêts partiel et ou général pour inspections réglementaires [triennales et ou décennales] des APG, des appareils de levage et équipements électriques [Transformateurs et mise à la terre].

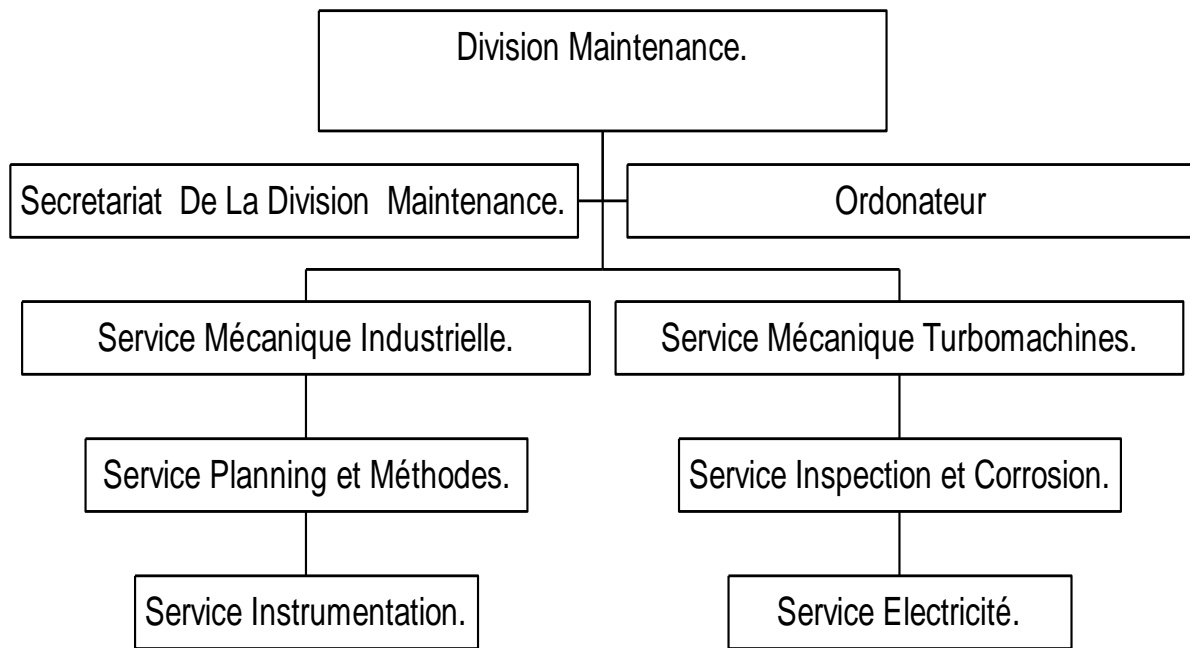
- Programmes Prévisionnels de révision de machines stratégiques [Turbines, Compresseurs, pompes d'expédition, Turbo-expander].
- Projets de revamping et développements du site.
- Enrichissement, actualisation ainsi élaboration des anciennes et nouvelles procédures de maintenance.

I.3.5.1.Organisation de la division maintenance :

La division maintenance est composée six (06) services qui sont les suivants :

1. Service méthodes.
2. Service mécanique industrielle.
3. Service électricité.
4. Service instrumentation.
5. Service turbo machine.

ORGANIGRAMME DE LA DIVISION MAINTENANCE.



6. Service inspection – corrosion.

Figure I.5: Organigramme de la division maintenance [1].

1.3.6. Division personnel :

La mission principale de la division PE c'est de veiller à assurer l'exécution des tâches citées ci-après :

- Gestion administrative des dossiers du personnel.
- Gestion des plannings et pointage du personnel.
- Suivi des allocations, remboursements de frais médicaux et ou de missions.
- Suivi des attributions et régularisations des différents Prêts au personnel tels que :
 - Prêt d'achat véhicule.
 - Prêt d'achat de nouveau logement.
 - Prêt de construction.
 - Prêt social.
- Suivi de l'évolution de carrière du personnel.
- Gestion et suivi du centre de formation.
- Participation à la réalisation des objectifs de la direction régionale liés à la réalisation des programmes prévisionnels de formations spécifiques relatives à l'exploitation des équipements et ou de communication d'informatique et anglais.

1.3.7. Division finance :

La mission principale de la division FI c'est de veiller à assurer l'exécution des tâches signalées ci après :

- Elaboration et suivi de l'exploitation des budgets.
- Financement et suivi des investissements relatifs aux nouveaux projets de développements.
- Contrôle, ordonnancement et comptabilisation des ordres de travail des activités de structures techniques.
- Ordonnancement et comptabilisation des factures de prestataires.
- Contrôle et approbation des cahiers de charges de la direction régionale.
- Elaboration et suivi juridique des contrats.
- Exploitation de rapport du commissaire au compte, communication et sensibilisation des structures pour action vis-à-vis des levées de réserves.
- Participation à la réalisation des objectifs de la direction régionale par le suivi de la consommation des budgets alloués aux programmes prévisionnels des grands travaux.

- Représenter la direction régionale auprès des directions finances du groupe SONATRACH et organismes d'état (Banques).

I.3.8. Division réalisation :

La mission principale de la division REAL c'est de veiller à assurer l'exécution taches citées ci dessous :

- Suivi et réalisation des travaux de soudure et chaudronnerie aux niveaux des installations et champs.
- Suivi et réalisation des travaux de génie civil et bâtiment.
- Suivi et réalisation des travaux de menuiserie et peinture.
- Suivi et réalisation des travaux de plomberie
- Suivi et réalisation des travaux d'entretiens électriques sur équipements installés au niveau des bases de vie.
- Suivi de la réalisation des projets de construction.
- Maintenance et exploitation des réseaux d'eaux potable et de service.
- Maintenance et exploitation des réseaux électriques BT.
- Maintenance et exploitation des unités de froid [climatisation].
- Maintenance et exploitation des réseaux de télécommunications.
- Participation à la réalisation des objectifs de la direction régionale par la réalisation des opérations prévisionnelles d'installations de surface et raccordements de nouveaux puits

I.3.9. Division intendance :

La mission principale de la division IT c'est de veiller à assurer les taches suivantes :

- Exploitation et entretien des bases de vies.
- Hébergement et restauration du personnel.
- Suivi des travaux de réparation sur équipements des bases de vie.
- Prise en charge des délégations lors des événements importants.
- Entretien des espaces verts.

I.4. Description du procès d'un train de traitement de gaz:

I.4.1. Circuit gaz:

Le gaz subira un refroidissement successif ; commence par son passage a travers l'échangeur E 02, l'eau et le condensat sont récupérée par condensation dans le ballon V 01 le gaz a haute pression (76 kg / cm^2) sort du sécheur A 01 A/B/C (deux sont en

service ; un en registration), passe à travers des filtres S02 A/B pour éliminer les éventuelles poussières du tamis moléculaire.

Après les filtres S02A/B, le gaz se divise en deux (02) parties, la majeure partie (90% environ) est refroidie au niveau du E01 avec le gaz provenant du V04 (séparateur à la sortie du turbo - expander). L'autre partie est refroidie au niveau du E03 avec le liquide provenant du V04. après sa sortie du E01 et E03 le gaz avec le liquide obtenu pendant la réfrigération entre dans le V03 où il y aura lieu la séparation entre le gaz et le liquide.

1.4.2. Circuit stabilisation condensat :

Le condensat qui alimente la section stabilisation se mélange entre eux dans le L01 (Mélange), puis ils sont détendus dans le V06 à 24 kg/cm² à la sortie du V06 le condensat est préchauffé dans E 04 A/B et E 06 à 50 °C environ puis détendus dans le V08 à environ 24 kg/cm².

Du V08, la pompe MP01 A/B (une en service l'autre à l'arrêt) envoie le condensat tout d'abord au filtre S05 pour l'élimination des parties solides jusqu'à 4 microns, ensuite elle l'envoie au coalescer, S04 pour l'élimination de l'eau qu'il pourrait contenir après le coalescer, la plus grande partie du condensat (70% environ) est réchauffée à 165°C environ.

Elle alimente ensuite la colonne de stabilisation sur le 20^{ème} plateau tandis que la partie restante (70% environ) à la température de 50°C alimente la colonne sur le troisième plateau.

Les vapeurs de tête de la colonne sont refroidies au niveau de l'aéroréfrigérant EA03.

L'échangeur E07 peut aussi être utilisé en série pour refroidir les vapeurs de tête de la C01 notamment lorsque la température de l'air dépasse 45°C.

Le liquide obtenu par le refroidissement des vapeurs de tête de la colonne est séparé du gaz dans le V09, puis renvoyé en reflux dans la colonne C01 au moyen de la pompe A02 A/B (01 en service, l'autre à l'arrêt).

Le produit de fond de la colonne C01 et le condensat stabilisé.

La quantité d'hydrocarbure légère (C4 et inférieure) contenus dans le condensat stabilisé et contrôlée par la chaleur fournie par la colonne C01, par le rebouilleur F02 qui maintient la température constante du 23^{ème} plateau de la colonne.

Le condensat stabilisé de fond de colonne se refroidit dans les échangeurs E05, E06, E04 tout en préchauffant l'alimentation de la colonne et se refroidit dans l'aéroréfrigérant EA02.

Après le refroidissement, le condensat est soumis en continu au contrôle de la TVR (valeur normale = 11,5 psi). Dans le cas où la valeur de la TVR excédant 12 psi, le coulage au réservoir on spec 83 T01 ou à l'oléoduc se fermeraient automatiquement. Le condensat est envoyé au réservoir hors spécification 02T04.

La température de 100°C, après son passage à travers les aéroréfrigérants [56, 57,58] EA01, le débit de gaz se divise en deux (02) parties :

Une partie sera expédiée par le moyen de gazoduc 48", l'autre partie alimente l'unité de réinjection cette dernière passe à travers les ballons d'aspiration (61,62 ; 63 ; 64-v-01) avant d'être aspiré par le compresseur centrifuge 1er étage à une pression de 94kg /cm² et à une température de 60°C est refoulé à une pression de 180 kg /cm² et à une température 132°C après son passage à travers les aéroréfrigérants 61/62/63/64[EA02] et les ballons d'aspiration de deuxième étage 61/62/63/64 [V02] ; le gaz est de nouveau aspiré par le deuxième étage à une pression de 178 kg/cm² et une température de 60°C et refoulé à une pression de 310 kg/cm² et une température 115°C. Ce dernier passe par les aéroréfrigérants 61/62/63/64 [EA02] avant d'être réinjecté dans les puits à une pression de 308 kg/cm² et une température 110°C.

I.5. Sécurité :

I.5.1. Définition :

- C'est un ensemble de règles et moyens techniques et d'hygiène et également un état d'esprit dont la finalité est de créer certaines conditions de travail en éliminant les accidents et les avaries.

- Les conséquences qui apparaissent en cas de négligences ou d'ignorance des règlements de sécurité sont tellement graves que la connaissance de ceux-ci est obligatoire, la sécurité technique s'intéresse essentiellement à l'homme, aux appareils et procédés technologiques et à une organisation de travail.

-Elle s'inspire et se base sur le résultat de plusieurs sciences telles que :

- L'organisation scientifique de travail (O.S.T)
- Les sciences techniques.
- Les sciences médicales.

I.5.2. Organisation de la sécurité :

Pour créer un milieu de travail sain et sûr, pour augmenter la production, et pour conserver la vie du personnel et diminuer au maximum les accidents, il faut installer un service de sécurité, doter d'un système de mesures et des moyens techniques et organisationnels qui limitent l'influences de facteurs industriels dangereux sur les travailleurs et ainsi garantissant la

sécurité des équipements installés ; pour que la sécurité puisse être bénéfique, il faut que les responsables du service concerné soient chargés de :

- Définir une politique de sécurité industrielle.
- La mise en place d'une structure prenant en charge cette politique et ses objectifs.
- Etudier les normes, consignes et procédures de sécurité spécifiques à l'entreprise.
- Organiser des campagnes d'informations pour l'ensemble des travailleurs.
- Veillez au respect de l'application de toutes les consignes données par le service de sécurité.

I.6. Types d'opérations à réaliser par le service mécanique industriel :

Tableau I.1 : Les opérations des services mécaniques industriels

Maintenance préventive	Maintenance curative
-Inspection triennale et décanale des Trains. -Appoint d'huile de Turbo-expander et Pompe. -Vidange et changement d'huile pour les Pompes et compresseur d'air...etc. -Changement de courroies. -Inspection des aéroréfrigérants. -Changement des filtres. -Appoint d'huile. -Graissage des aéroréfrigérants. -Révision d'un compresseur.	-Elimination de fuite d'huile. - Elimination de fuite pour les pompes au niveau de la garniture mécanique. -Révision des aéroréfrigérants. -Isolations des équipements par des brides plaines.

<p>-Graissage des Vannes HSV et KJV.</p> <p>-Inspection des Vannes.</p>	
---	--

Conclusion :

Nous avons vu dans ce chapitre une description générale du complexe gazier de RHOUDRE NOUS ainsi que les différents usines existant dans ce cite et leurs divisions.

Introduction

L'industrie de chauffage et de froid nécessite pour la majorité de leur application des échangeurs de chaleur. Un échangeur est un appareil qui assure le transfert de chaleur entre des fluides ou des suspensions à des températures différentes. C'est un élément clé dans la transformation de la matière et de l'énergie et il joue un rôle essentiel dans tout cycle thermodynamique en contribuant à l'amélioration du rendement globale de cycle. On les utilise principalement dans les secteurs de l'industrie (chimie, pétrochimie, sidérurgie, agroalimentaire, production d'énergie, etc.), du transport (automobile, aéronautique), mais aussi dans le secteur résidentiel et tertiaire (chauffage, climatisation, etc.).

II.1. Classes d'échangeurs de chaleur : [12]

On distingue trois classes d'appareils correspondant à des fonctions très spécifiques, est qui sont les suivants :

II.1.1. Les échangeurs et les réfrigérants :

Dans lesquels ne se produit aucun changement de phase, la désignation «échangeur» est réservé aux appareils ou le transfert entre fluide chaud et froid correspond effectivement à une récupération de la chaleur, alors que le terme « réfrigérant » s'applique aux appareils où l'on refroidit un effluent par un fluide auxiliaire.

II.1.2. Les condenseurs :

Qui permettant la condensation et le refroidissement d'un effluent vapeur en tête de colonne, soit à l'aide d'un fluide froid, (condenseur essence brut), soit à l'aide d'un fluide auxiliaire (eau, air, saumure, produit frigorigène).

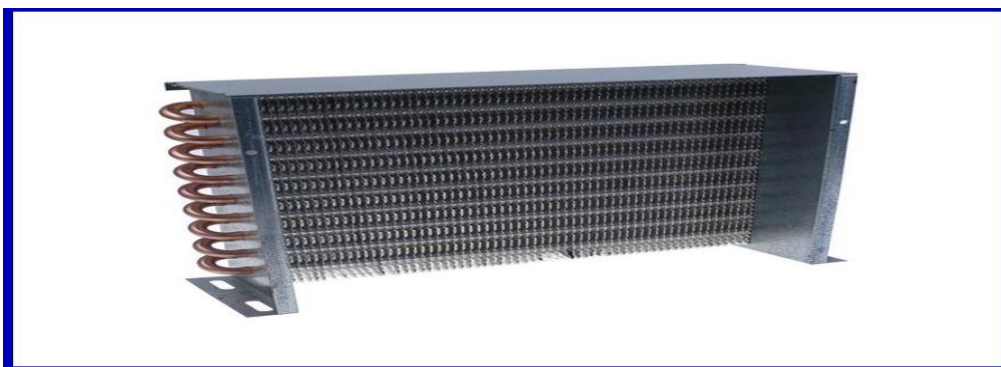


Figure II.1 : Condenseur [14]

II.1.3. Les évaporateurs :

Qui assurent une vaporisation des produits de fonds de tours gaz grâce à la circulation d'un effluent chaud (gasoil de recyclage par exemple) ou d'un fluide auxiliaire (vapeur d'eau).

Dans tous ces appareils la surface de transfert est matérialisée par des tubes dans les divers arrangements permettant de résoudre avec satisfaction les nombreux problèmes de récupération de chaleur rencontrés dans l'industrie.

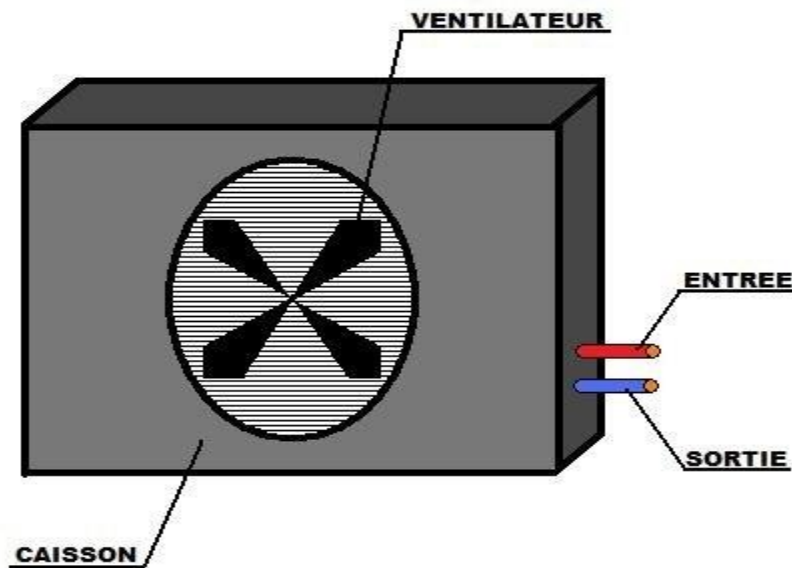


Figure II.2 : Evaporateur [15]

II.2. Critères de classement des échangeurs de chaleur :

Il existe plusieurs critères de classements des différents types d'échangeurs, énumérons les principaux :

II.2.1. Classification selon le mode de circulation : [2]

Ce classement est réalisé à partir de la géométrie de l'échangeur et de sens relatif des écoulements des deux fluides dans ce qui suit, on représente uniquement les circulations des fluides les plus souvent rencontrées.

II.2.1.1. Echangeur a courants parallèles :

Dans cette configuration (figure II.1) les deux fluides s'écoulent dans la même direction. Cette circulation est dite Co-courant ou anti méthodique.

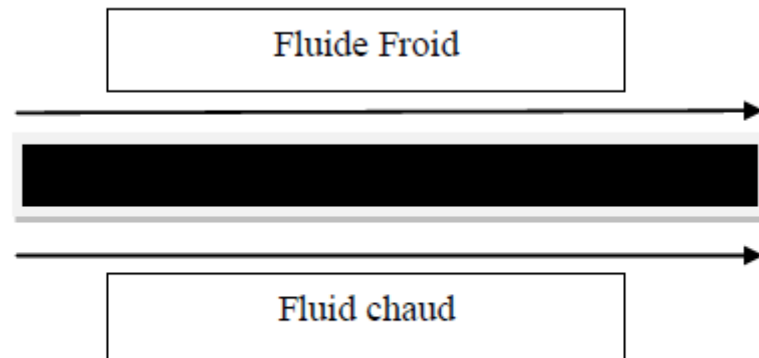


Figure II.3 : Echangeur Co-courant

II.2.1.2. Echangeur à contrecourant :

Si la circulation a lieu dans le sens contraire, les écoulements sont dits à contre-courant ou méthodique.

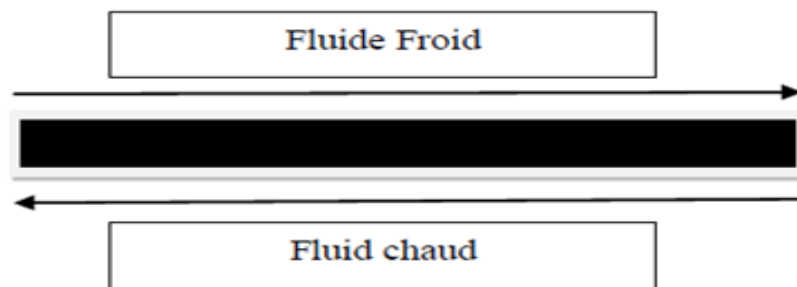


Figure II.4 : Echangeur contre-courant

II.2.1.3. Echangeurs à courants croisés :

Dans ce type d'échangeurs les deux fluides s'écoulent perpendiculairement l'un à l'autre (figure II.3) en remarque ainsi que le sens d'écoulement est sans importance.

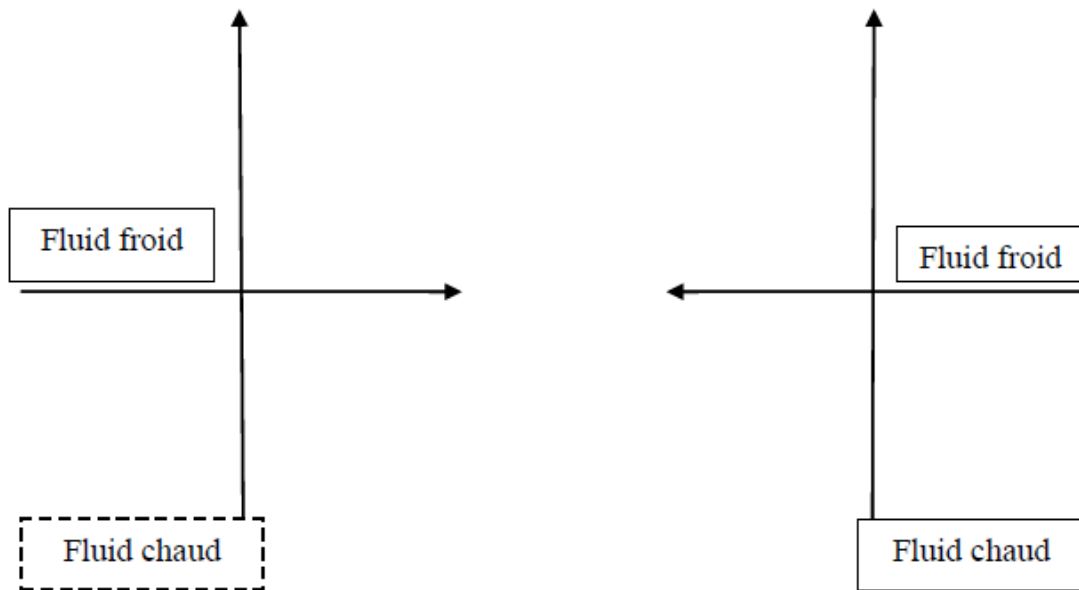


Figure II.5 : Echangeur à courants croisés

Dans la plupart des cas l'un des fluides traverse l'écoulement de l'autre fluide plusieurs fois, et l'échangeur est appelé à multiple passe. On distingue deux modes de circulation :

a- Circulation à courants croisés méthodiques :

L'un des fluides entre par l'extrémité de l'appareil d'où sort le deuxième fluide (figure II.4).

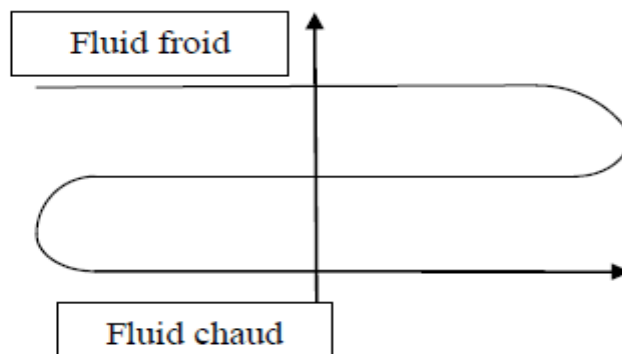


Figure II.6 : Echangeur à courants croisés méthodiques

b-Circulation à courants croisés anti méthodiques :

Les deux fluides entre par la même extrémité de dispositif (figure II.7).

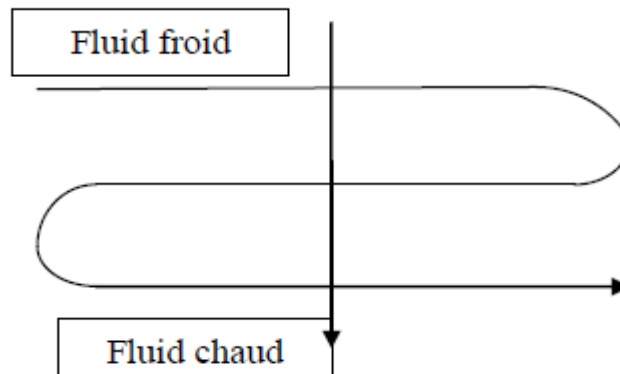


Figure II.7 : Echangeur à courants croisés anti méthodiques

II.2.2. Classement fonctionnel : [3]

Le passage des fluides dans l'échangeur peut s'effectuer avec ou sans changement de phase suivant le cas, on dit que l'on a un écoulement monophasique ou diphasique. On rencontre alors les différents cas suivants :

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

II.2.3. Classement suivant la compacité de l'échangeur : [3]

La compacité est définie par le rapport de l'aire de la surface d'échange au volume de l'échangeur. R.K.Shah propose qu'un échangeur soit considéré comme compact si sa compacité est supérieure à $700\text{m}^2/\text{m}^3$; cette valeur est susceptible de varier de 500 à $800\text{m}^2/\text{m}^3$. Une classification en fonction de la compacité peut être donnée :

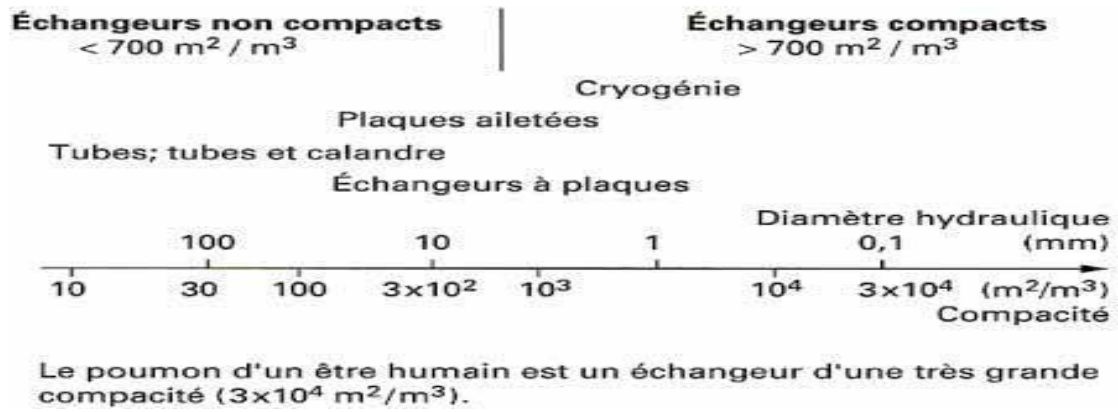


Figure II.8 : Compacité des échangeurs [3]

II.2.4. Classification selon le nombre des fluides : [4]

- Deux fluides.

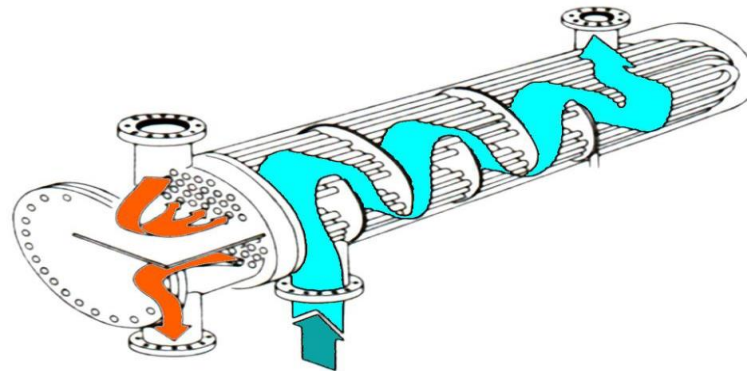


Figure II.9 : Echangeur à deux fluides [11]

- Trois fluides.

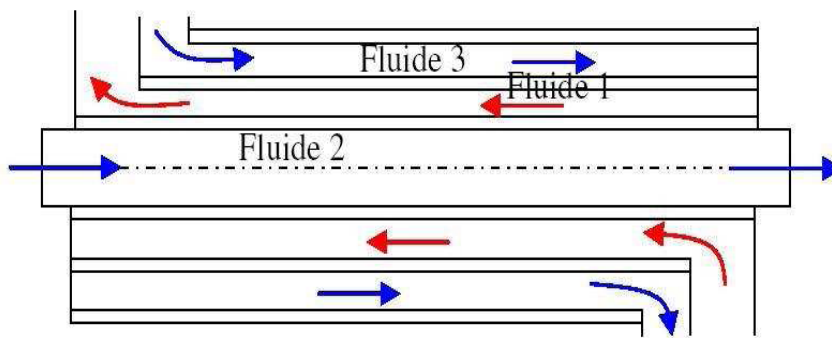


Figure II.10 : Echangeur à trois fluides [13]

- Nombre de fluide > 3 .

II.2.5. Classement suivant la nature de matériau de la paroi d'échange : [3]

On retiendra deux types de paroi :

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

II.2.6. Classification selon le contact : [5]

II.2.6.1. Echangeur a mélange :

Dans ces appareils, les fluides sont intimement mélangés, ces échangeurs sont simples, compact et très efficaces puisque toutes les calories cédés par le fluide chaud sont utilisées pour chauffer le fluide froid.

II.2.6.2. Echangeur a surface :

Dans ce type d'échangeur les fluides sont séparés par des surfaces métalliques. L'échange thermique entre les deux fluides se fait par un contact direct.

II.2.7. Classement suivant le mode de transfert de chaleur: [1]

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 convection intervient.

II.2.8. Classement suivant le procédé de transfert de chaleur : [1]

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

- Transfert sans stockage, donc en récupérateur, avec 2 ou **n** passages et un écoulement en général continu.
- Transfert avec stockage, donc en régénérateur, avec un seul passage et un écoulement intermittent, la matrice de stockage étant statique ou dynamique.

II.2.9. Classement suivant la fonction de l'échangeur : [4]

Parmi les fonctions de l'échangeur de chaleur qu'il existe en site les suivants :

a-Fonction réfrigération :

- **Réfrigérant** (cooler) : il refroidit un liquide ou un gaz par circulation d'un fluide auxiliaire, généralement de l'eau.
- **Réfrigérant intermédiaire** : (intercooler), final (aftercooler) : ces termes sont plutôt réservés aux réfrigérant de gaz comprimés au divers étages de compression.

- **Réfrigérant final** (trim cooler) : réfrigérant qui termine la régénération d'un produit. Souvent, ce terme désigne : le réfrigérant a eau qui assure les conditions de sécurité requises pour le stockage des produits ; par extension, il désigne aussi l'association aéroréfrigérant suivi d'un réfrigérant a eau fréquemment utilisés pour cette fonction.
- **Chiller** : refroidit un fluide de procédé par évaporation d'un fluide frigorigène (ou par de l'eau réfrigérée).

b-Fonction réchauffage :

- **Préchauffeur** (preheater) : il préchauffe un fluide de procédé par la vapeur d'eau ou un fluide chaud de procédé, la chauffe se poursuivant souvent dans un four en aval.
- **Réchauffeur** (heater) : il réchauffe également un fluide de procédé mais le terme s'emploie surtout pour désigner l'appareil qui réchauffe un produit stocké généralement pour assurer sa comptabilité.

Les termes réchauffeur et préchauffeur d'air s'applique aux appareils (cycliques ou non) assurant la préchauffe de l'air de combustion d'une chaudière ou d'un four par récupération d'une partie de la chaleur contenue dans les fumées ou dans un autre fluide auxiliaire.

- **Economiseur** (economizer) : ce terme est plutôt réservé au serpentin permettant la préchauffe de l'eau d'alimentation des chaudières par les fumées.
- **Surchauffeur** (super heater) : il augmente la température d'une vapeur au-delà de sa température de condensation.

c-Fonction condensation :

- **Condenseur** (condenser) : il assure la condensation totale (total condenser) ou partielle (partial condenser) de vapeur par circulation d'eau ou d'un fluide de procédé suffisamment froid.
- **Aérocondenseur** (subcooler) : il a la même fonction que le précédent en utilisant l'air comme fluide froid. il assure simultanément la condensation de vapeur et le refroidissement des condensats généralement par circulation d'eau.

d-Fonction vaporisation :

- **Vaporiseur** (vaporizer) : il assure la vaporisation totale ou partielle d'un liquide de procédé, l'apport de chaleur étant fait par de la vapeur d'eau ou un fluide chaud de procédé éventuellement en condensation.
- **Bouilleur** (boiler), **rebouilleur** (reboiler) : il vaporise une partie des produits de fonds de colonnes pour les renvoyer au fractionnement.

- **Générateur de vapeur** : il produit de la vapeur par récupération de chaleur sensible contenue dans les fluides de procédés, des fumées de fours ou des lits catalytiques (Waste heat boiler) ou par combustion de gaz ou de liquides résiduels (Steam generator).

e-Fonction particulière :

- **Evaporateur** (evaporator) : terme plutôt utilisé pour désigner l'appareil qui concentre des solutions aqueuses par évaporation d'eau ; cependant il peut désigner aussi un vaporiseur et un Chiller. Quelle que soit leur fonction, le principe de fonctionnement de tous ces appareils est celui des échangeurs de chaleur par surface interposée entre deux fluides et mettant en œuvre la transmission par conduction et convection simultanées. par ailleurs, la façon d'organiser la circulation des fluides de chaque côté de la paroi conditionne leur performance. Il existe plusieurs critères de classement des différents types d'échangeurs.

II.2.10. Classification par mode de conception :

L'échangeur de chaleur est caractérisé par le principe d'échange effectuée entre les deux fluides pour ça, il ya des conceptions qui sont très variées. [7]

II.2.10.1 .Echangeurs tubulaires : [1]

Pour des raisons historiques et économiques, les échangeurs utilisant les tubes comme constituant principal de la paroi d'échange sont les plus répondus. On peut distinguer trois catégories suivant le nombre de tubes et leur arrangement, toujours réalisés pour avoir la meilleure efficacité possible pour une utilisation donnée :

A. Echangeur monotube :

Dans lequel le tube est placé a l'intérieur d'un réservoir et a généralement la forme d'un serpent. (Figure II.11).



Figure II.11 : Echangeur monotube [3]

B. Echangeur coaxial :

(Double tube) ; dans lequel les tubes sont le plus souvent cintrés ; en général, le fluide chaud ou le fluide a haute pression s'écoule dans l'intérieur (figure II.12).

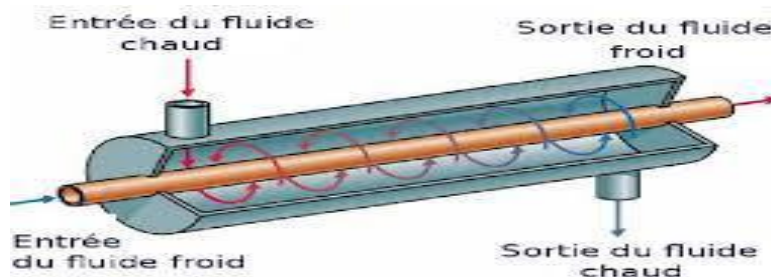


Figure II.12 : Echangeur coaxial [11]

C. Echangeur multitubulaire :

Existant sous trois formes :

- **Echangeur a tubes séparés** (figure II.13) ; à l'intérieur d'un tube de diamètre suffisant (de l'ordre de 100mm) se trouvent plusieurs tubes de petit diamètre (de 8 a 20 mm) maintenue écartés par des entretoises. L'échangeur peut être soit rectiligne, soit enroulé.

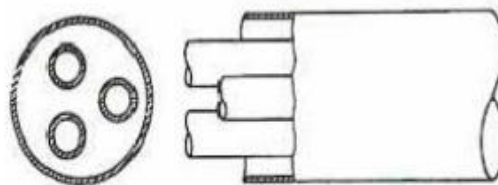


Figure II.13 : Echangeur a tube séparé [3]

- **Echangeur a tubes rapprochés** (figure II.14) ; pour maintenir les tubes et obtenir un passage suffisant pour le fluide extérieur au tube, on place un ruban enroulé en spirale au tourde certains d'entre eux .les tubes s'appuient les uns sur les autre par l'intermédiaire des rubans

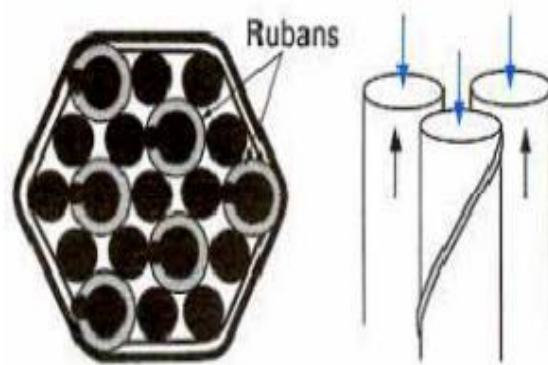


Figure II.14 : Echangeur à tube rapproché [9]

D. Echangeur à tubes ailetés :

Elles sont constituées d'un faisceau de tubes, répartis en rangs ou nappes, dans lesquels circule un fluide caloporteur ayant un bon coefficient d'échange.

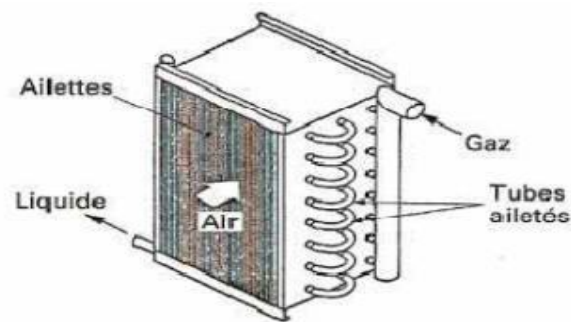


Figure II.15 : Echangeur à tube aileté [3]

Les ailettes peuvent être disposées de différentes façons :

- ailettes transversales** : elles peuvent être continues ou indépendantes, on peut rencontrer d'autres types d'ailettes fréquemment utilisés.

- ailettes longitudinales** : elles peuvent être situées à l'intérieur ou l'extérieur des tubes.

E. Echangeur tube et calandre : [6]

Ce type d'appareil est de loin le plus répandu, le principe de faisceau logé à l'intérieur d'une calandre a été retenu également dans la construction des condenseurs et rebouilleurs (figure II.16).

L'appareil est constitué par un faisceau de tubes montés dans deux plaques tubulaires et portant un certain nombre de chicanes.

A chaque extrémité de l'appareil, sont fixées les boîtes de distribution qui assurent la circulation du fluide à l'intérieur du faisceau en plusieurs passes. Le faisceau est logé dans une calandre, menu de tubulures d'entrée et de sortie pour le second fluide qui circule à l'extérieur des tubes suivant le chemin imposé par les chicanes.

Tous les éléments entrant dans la construction des échangeurs on fait l'objet d'une normalisation publiée par la TEMA (tubulaire échanger manufacture association) qui spécifier les caractéristiques mécaniques et thermiques correspondant aux divers conditions de fonctionnement.

La capacité maximum (surface d'échange par mètre cube) obtenue avec cette configuration et de l'ordre de $500\text{m}^2/\text{m}^3$.

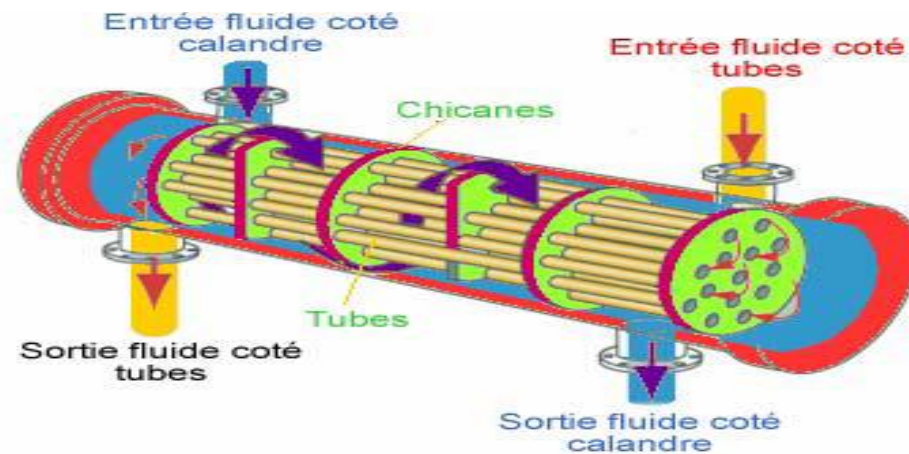


Figure II.16 : Echangeur à tube et calandre [11]

E.1.Calandre :

C'est l'enveloppe métallique, cylindrique entourant le faisceau tubulaire, l'acier en carbone ; et le matériau le plus couramment utilisé pour la construction des calandres.

Pour un diamètre nominale inférieur a 24'' (0.6096m), la calandre est constitué par un tube acier I.P.S. (Schedule 30 jusqu'a 12'' et 1 cm d'épaisseur entre 12 et 24'') et pour les pressions inférieure a $20\text{kg}/\text{cm}^2$.

Au-delà de 24'' la calandre est réalisée a partir de tôles d'acier roulées et soudées, a chaque extrémité ; les brides qui porteront le couvercle et la boîte de distribution, les tubulures d'entrées et de sorties sont soudées avec plaques de renforcement ou non, selon la pression de service.

Enfin la calandre pourra être équipée d'anneaux pour le levage, et portera la plaque d'identité de l'appareil.

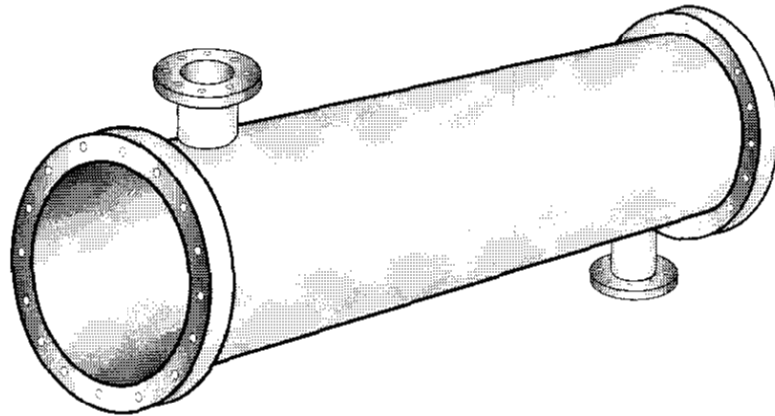


Figure II.17. La calandre [12]

E.2.Faisceau :

Les tubes constituant le faisceau forment une classe spéciale répondant aux spécifications.

Le diamètre nominal correspond au diamètre extérieur pour lequel les tolérances sont sévères.

Les épaisseurs de tubes sont normalisées selon le calibre BWG (Birmingham Wire Gage). On utilise le plus couramment les tubes 12, 14 ou 16 BWG ces tubes sont généralement de longueur standard de 2.24-3.05-3.66-4.88 et 6.096 mètres. Les conditions de fonctionnement imposent le choix suivant du matériau :

- acier au carbone pour usage général.
- laiton amirauté pour les appareils travaillant avec de l'eau de mer.
- acier alliées pour les produits corrosifs et les températures élevées.
- aluminium ou cuivre pour les très basses températures.

Le démontage de faisceau de tube et de plus en plus au fur et à mesure que sa longueur s'accroît (problème de rigidité de faisceau), pour tout les échangeurs démontables, il convient de laisser un espace libre suffisant dans l'axe de l'échangeur pour permettre la sortie du faisceau de tubes.

Deux dispositions de tubes sont possibles : le Pas Carré et le Pas Triangulaire (fig...), la disposition en pas carré offre une plus grande facilité de nettoyage (toute la surface extérieure de tubes est accessible par un jet d'eau sous pression ou par un instrument de nettoyage) mais elle est encombrante, par contre la disposition en pas triangulaire est plus compacte, donc plus économique.



Figure II.18 : faisceau tubulaire (photo réelle).

Les pas standards les plus courants sont : 0.024, 0.025, 0.030, 0.032, et 0.038 m, le rapport de pas au diamètre extérieure des tubes sera au minimum 1.25 et sera pris supérieur à 1.25 si l'on souhaité limité les pertes de pressions coté fluide dans la calandre ou pour les bouilleurs dégageant une forte quantité de vapeur.

Le pas triangulaire permet de placer environ 10% de tubes de plus que pas carré sur une plaque tubulaire de diamètre donné. Mais en contrepartie, la disposition des tubes rend impossible leur nettoyage extérieur par insertion de grattoirs ou de racloirs à travers le faisceau, pour ces appareils il faut avoir recours au nettoyage chimique et réserver leur emploi pour des fluides propres.

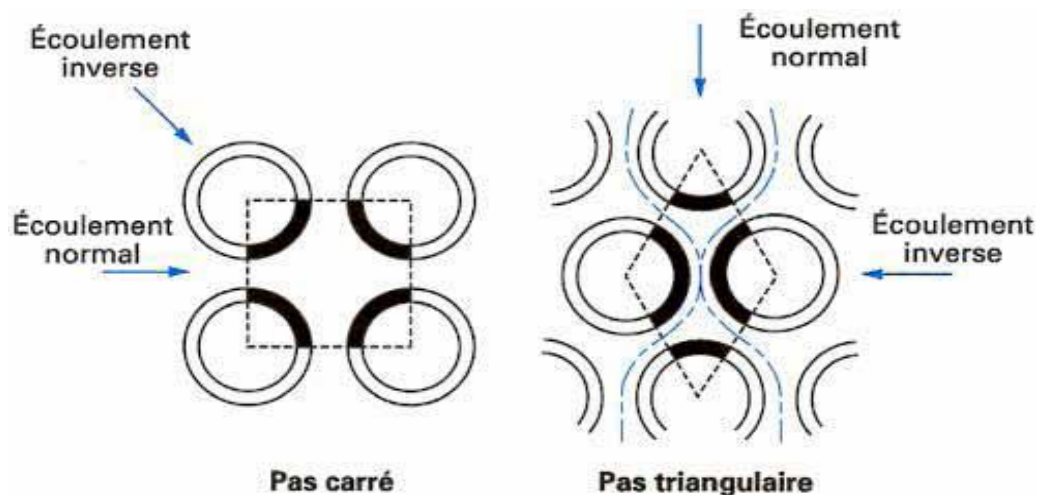


Figure II.19 : Disposition des tubes du faisceau [9]

E.3.Boite d'échangeur :

C'est l'organe qui distribue ou recueille le fluide aux extrémités de l'échangeur (TETE : boîte de distribution et FOND : boîte arrière).

La disposition des boîtes dépend non seulement de type choisi mais aussi du nombre de passes ; la liaison cloison plaque tubulaire est assurée par un joint (figure II.20).

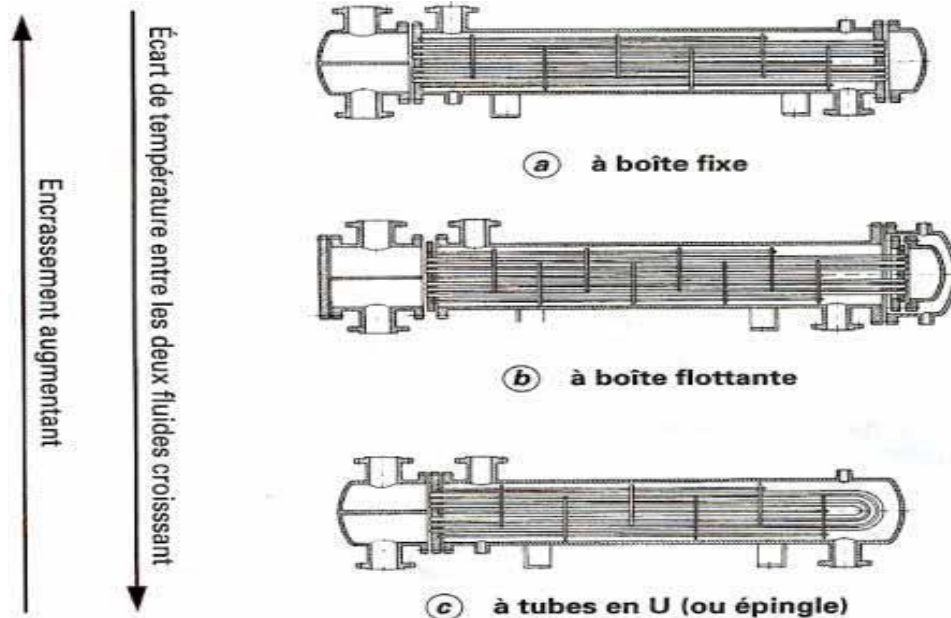


Figure II.20 : Échangeur à tubes et calandre : principales technologies à boîte fixe, boîte flottante et à tubes en U

E.4.Chicanes :

Elles ont pour rôle d'augmenter la vitesse de fluide dans la calandre et assurer la rigidité du faisceau. Les chicanes supportent les tubes et maintiennent l'écartement entre ceux-ci, diminuant les vibrations dus aux impacts de fluide.

Ils existent deux types de chicanes :

- Chicanes transversales
- Chicanes longitudinales

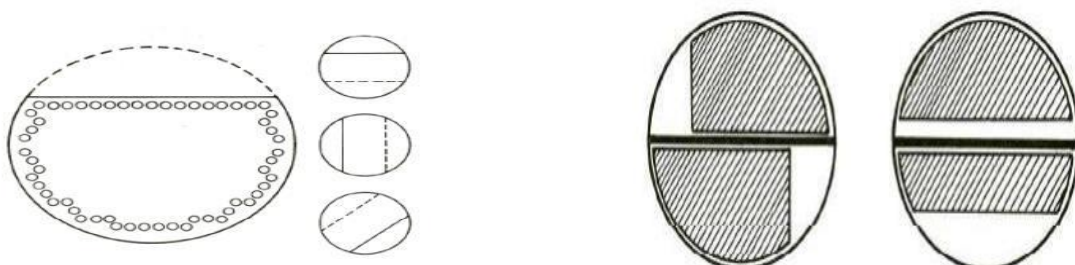


Figure I.21 : Chicanes transversales et longitudinales [9]

E.5. Plaques tubulaires :

Ce sont des plaques supportant les tubes à leurs extrémités. Ce sont des parties délicates de l'échangeur, les interstices entre tubes et plaques tubulaires ; sont les lieux privilégiés de corrosion vu la stagnation du fluide en ces lieux.



Figure II.22 : Plaque tubulaire (photo réelle)

-Fixation des tubes sur la plaque tubulaire :

Les tubes sont fixés à chacune de leurs extrémités par mandrinage dans deux plaques tubulaires. La performance des trous dans ces plaques est normaliser, elle s'effectue selon une disposition soit au pas carré, soit au pas triangulaire, l'orientation de faisceau par rapport a la direction générale du fluide circulant dans la calandre, on obtient les quartes dispositions de la précédente.

E.6. Tirants et entretoises :

Ce sont des dispositifs ou équivalents assurant la liaison du système de chicanes, qui ont pour objet de maintenir des chicanes et les plaques supports solidement en place, les tirants et entretoises doivent être de même matériau que la calandre (figure II.23).



Figure II.23 : Tirants et entretoises (photo réelle)

E.7. Classification des échangeurs tubes-calandres :

Le TEMA nous démontre les trois classes d'échangeurs tubulaires utilisés dans l'industrie pétrolière, et qui sont comme suite :

E.7.1. Echangeur a plaque tubulaires fixes :

Les plaques tubulaires peuvent être directement soudées sur la calandre, de construction peuvent onéreuse, ces appareils permettent de logé le maximum de tube a l'intérieur de la calandre, mais ils ne peuvent pas être utilisés que c'est la différence des températures de deux fluides chaud et froid est suffisamment faible pour que la dilatation ou la contraction du faisceau sont acceptables, en autre, le nettoyage de l'extérieur des tubes ne peut s'affecter que par voie chimique , leur emplois reste donc limité(figure II.24).

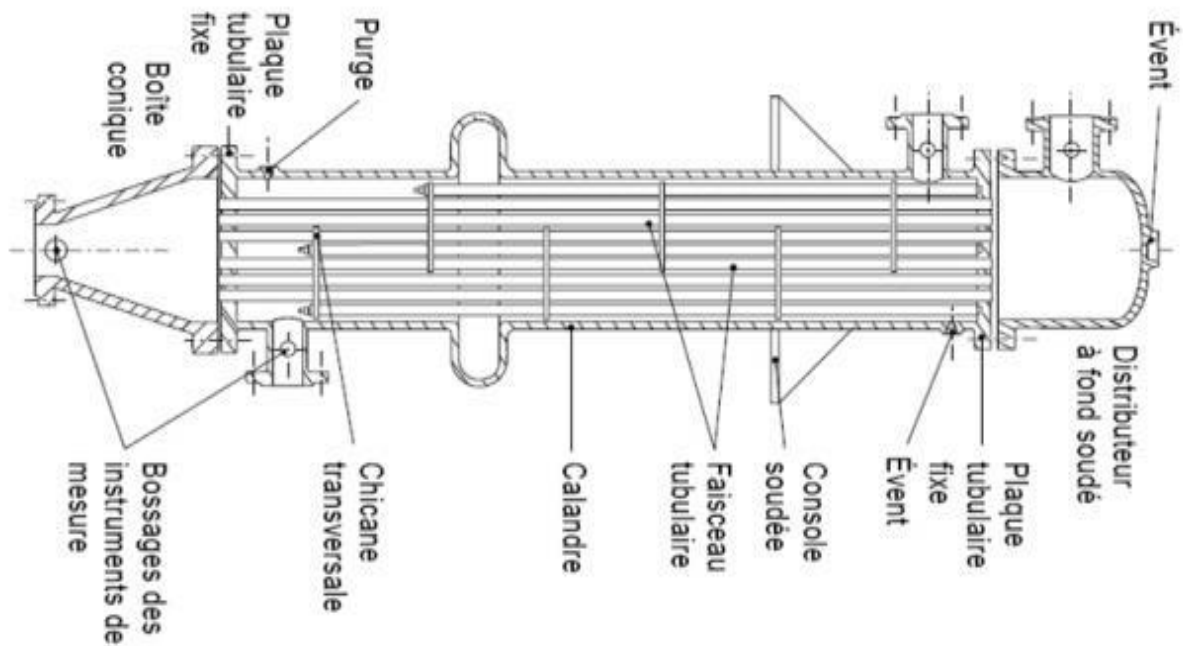


Figure I.24 : .Echangeur a plaque tubulaires fixes [6]

E.7.2.Echangeurs avec tubes en U :

L'utilisation des tubes coudés, en forme d'épingles à cheveux, supprime une plaque tubulaire, tout en conservant les propriétés d'expansion de la tête flottante, l'économie réalisée sur le coût d'une plaque tubulaire est compensée par l'impossibilité de nettoyage mécanique de l'intérieur, et a un nombre de tubes plus faible que les autres par suite de diamètre minimale de cintrage des tubes obligeants le constructeur à laisser un espace libre au centre du faisceau, ce faisceaux en U sont utilisés surtout dans les rebouilleurs à vapeur (figure II.25).

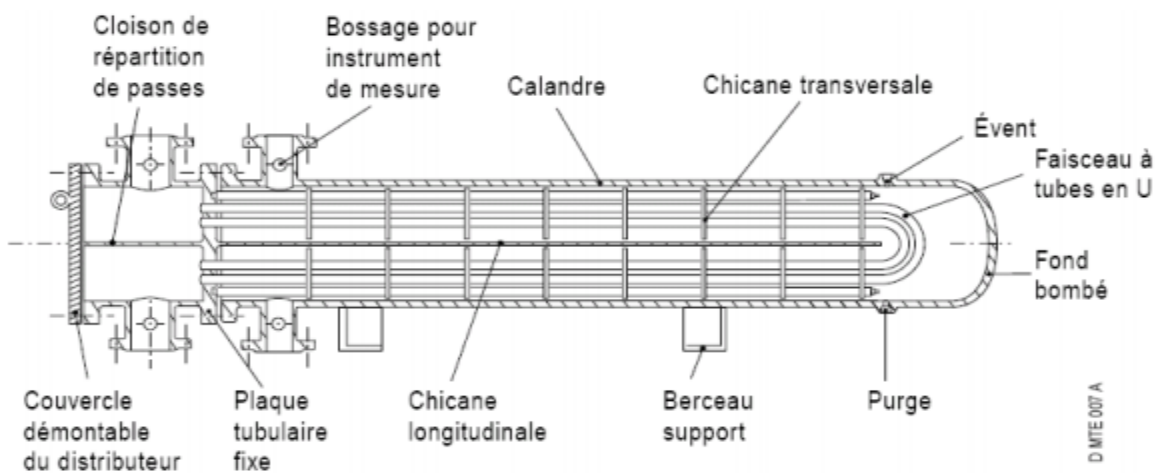


Figure I.25 : Echangeur avec tube en U [6]

E.7.3. Echangeurs à tête flottantes :

L'une des plaques tubulaire est fixe, bloquée entre les brides de la calandre et de la boîte de distribution. La seconde plaque d'un diamètre inférieure au diamètre intérieur de la calandre ; ces appareils qui permettent l'expansion thermique de faisceau ainsi que son nettoyage mécanique, constituent la presque totalité des échangeurs utilisés en industrie pétrochimique (figure II.26).

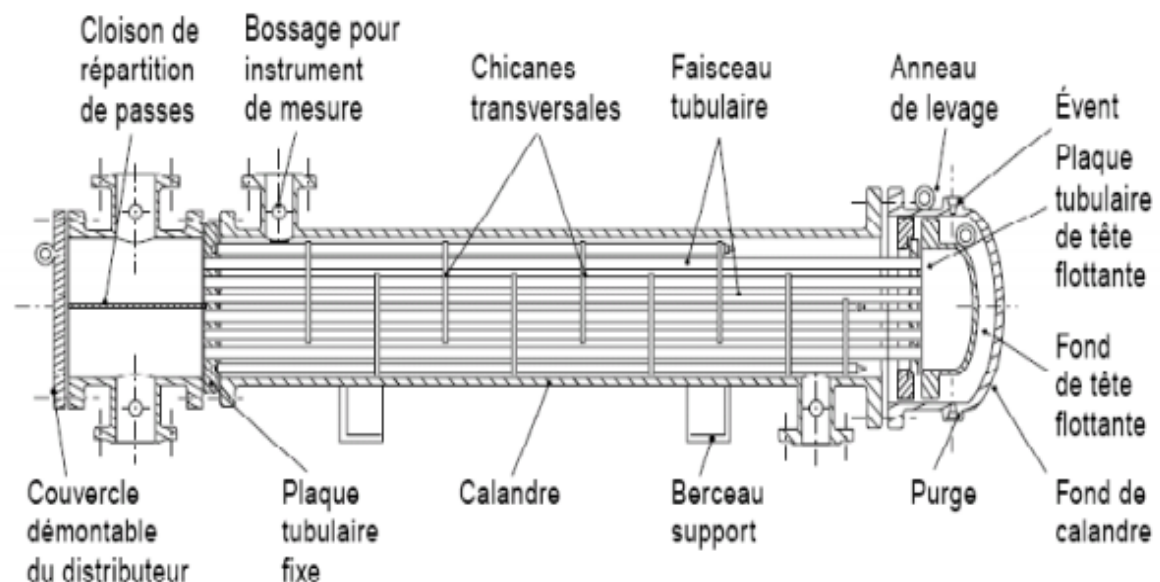


Figure I.26 : Echangeurs à tête flottantes [6]

II.2.10.2. Echangeurs a plaques :

Ils sont les plus fréquemment utilisés. Les échangeurs a plaque sont constitués par un assemblage de plaques canulées indépendantes. Les plaques sont encastrées et serrées dans un bâti chaque paire de plaques adjacentes forme un canal et les fluides (produits et fluides caloporteur) circulent alternativement dans les canaux. Des profils spéciaux sont utilisés pour augmenter la turbulence, et le coefficient de convection. Les plaques sont équipées des joints permettant d'éviter tout mélange de fluide on distingue suivant la géométrie de canal utilisé les échangeurs a surface primaire et les échangeurs a surface secondaire. [3]

a. Echangeurs à surface primaire : [3]

Les échangeurs à surface primaire sont constitués de plaques corrigées, nervurées ou picotées. Le dessin du profil de plaques peut être assez varié mais il a toujours un double rôle d'intensification du transfert de chaleur et de tenue à la pression par multiplication des points de contact.

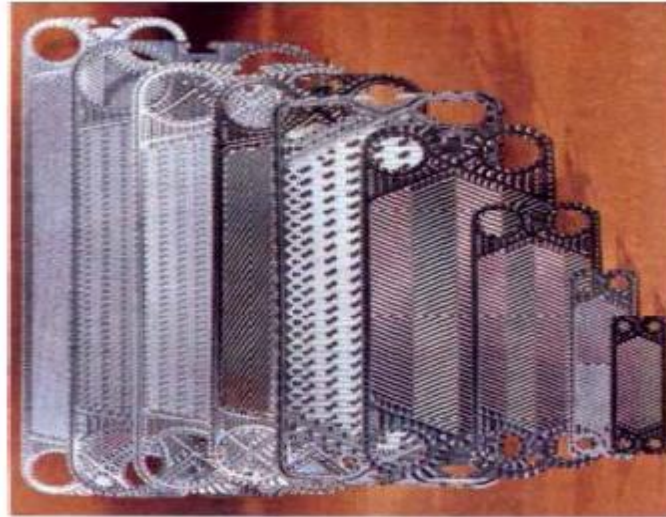


Figure II.27 : Echangeur a surface primaire [3]

- **Echangeurs à plaques et joint : [4]**

L'appellation « échangeur à plaques et joints » est plus précise et permet d'éviter la confusion avec les échangeurs à plaque soudée ou à plaque brassée qui seront décrits par la suite.

Dans un échangeur à plaque et joints la surface d'échangeur est composée de série de plaques métalliques, équipés de joints, serrés les unes contre les autres à l'aide des tirons entre deux flasques, l'un fixe et l'autre mobile.

Les plaques définissent un ensemble de canaux dans lesquelles circulent respectivement chacune des fluides.

Les échangeurs à plaques et joints sont surtout utilisés pour le transfert de chaleur monophasique, mais de plus en plus l'application existe en double phase condensation ou évaporation.

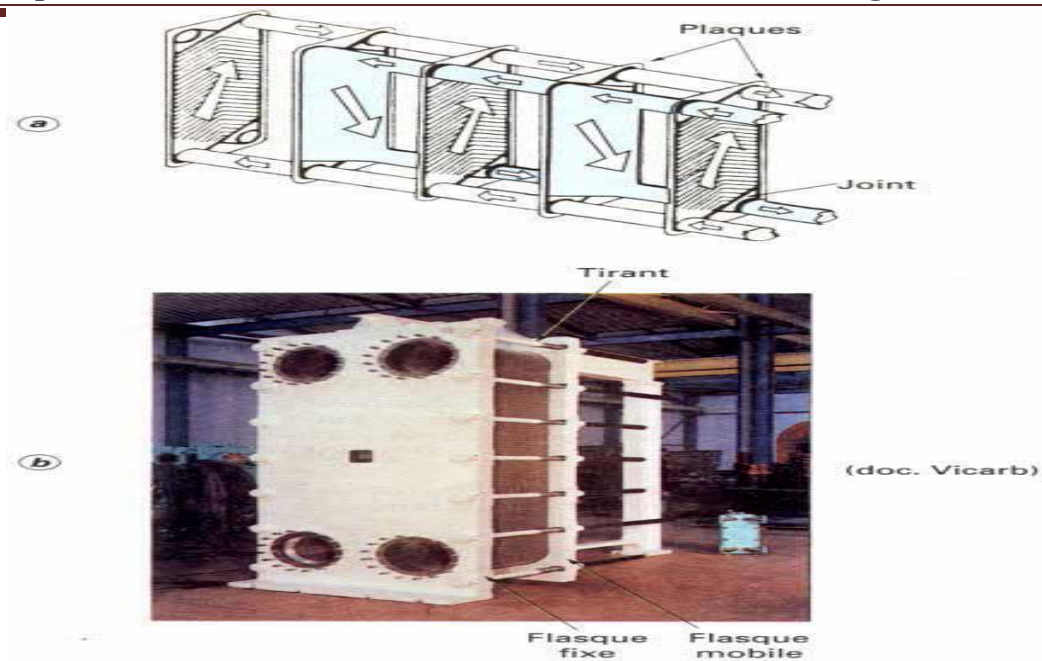


Figure II.28 : Echangeurs à plaques et joint [3]

- **Echangeurs à plaques soudées ou brassées :**

Ces échangeurs sont en générale fabriqués à l'aide des matériaux plus noble tel que l'acier inoxydable, le titan, le nickel,..... On distingue :

-Echangeur lamellaire :



Figure II.29 : Echangeurs à plaques soudées ou brassées [3]

-Echangeur à spirale :

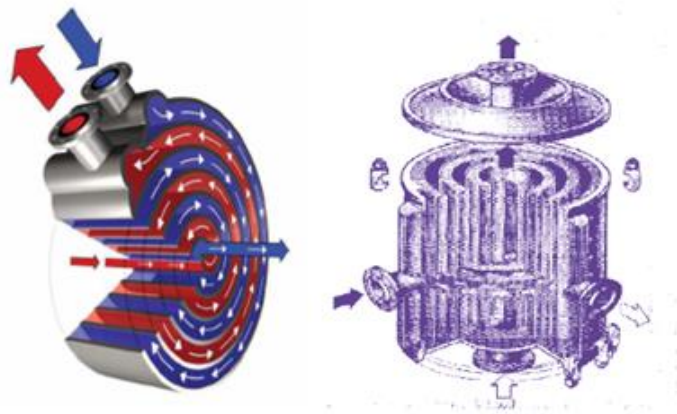


Figure II.30 : Echangeur à spirale : [10]

-Echangeur brasée :

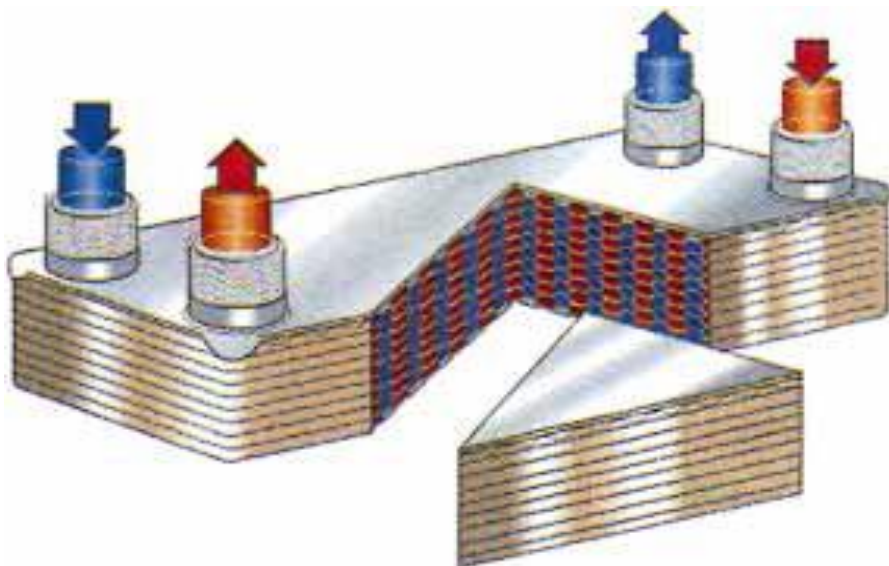


Figure II.31 : Echangeur brasé [3]

b. Echangeurs à surface secondaire :

• Echangeurs à plaques serties :

Ces échangeurs sont constitués de tôles planes parallèles entre lesquelles sont disposées des ailettes ; ils sont en général fabriqués en tôle légère (acier galvanisé, acier inoxydable, aluminium, etc.). Les fluides empruntent un canal sur deux et la circulation est soit à contre courant, soit à courant croisés. Les ailettes sont de type très variés. Ces échangeurs sont en général utilisés en récupération sur l'air.

- **Echangeur a plaques brasées : [4]**

Ces échangeurs sont en aluminium brasé. les fluides circulent dans des passages définis par de tôles planes consécutives et fermés latéralement par des barres.

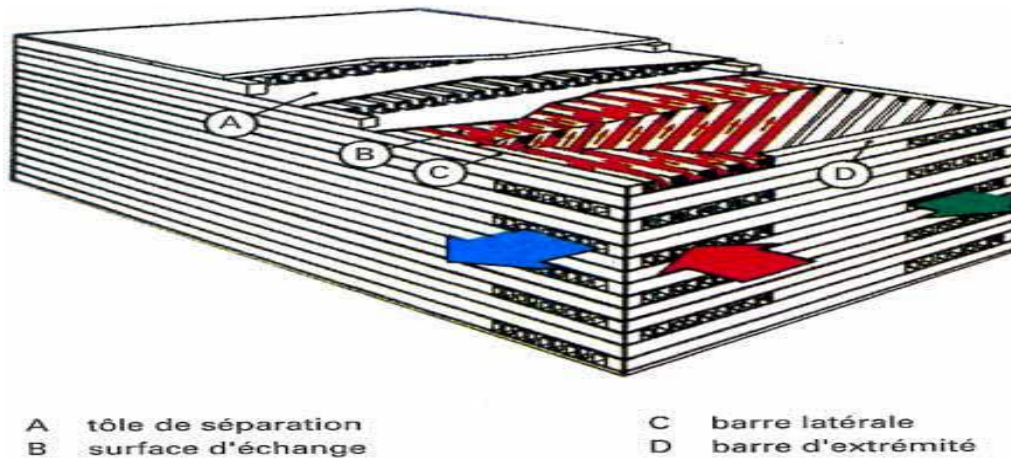


Figure II.32 : Echangeur a plaques brasées [3]

II.2.10.3. Norme TEMA :

Les échangeurs tubulaires existant dans l'industrie sont très variés dans leur technologie bien que le principe reste toujours le même. Ainsi, tous les éléments entrants dans la constitution des échangeurs ont fait l'objet d'une normalisation publiée par TEMA.

La Norme TEMA (Tubular Exchanger Manufacturer's Association) définit les principaux types d'échangeurs.

Suivant cette norme, la forme d'un échangeur est caractérisée par 3 lettres :

- 1ère lettre : boîte / tête avant
- 2ème lettre : calandre couramment appelée Shell
- 3ème lettre : boîte / tête arrière

Ci-dessous, vous retrouvez le TEMA :

Normes TEMA - Echangeurs Tubulaires

L'échangeur le plus récurrent est le BEM qui se définit comme suit :

- B : chambre à fond et bride monobloc : plaque tubulaire fixe
- E : calandre 1 passe
- M : plaque tubulaire fixe (équivalent du B)

Cette normalisation TEMA est complétée par d'autres codes tels que :

API: American Petroleum Institute.

ASME: American Standard for Mechanical Engineering

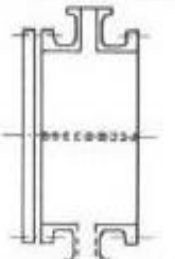
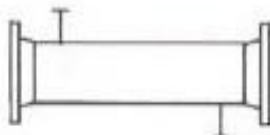
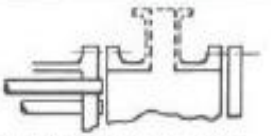
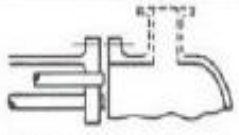

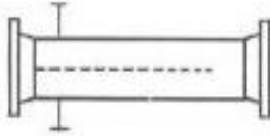
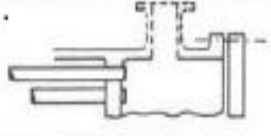
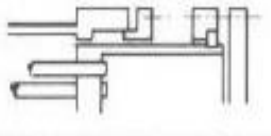
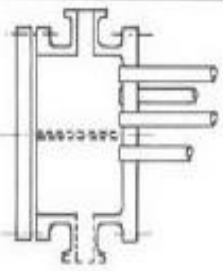
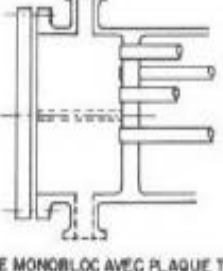
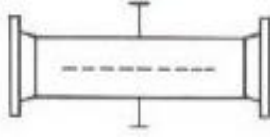
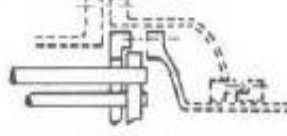
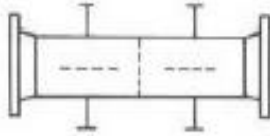
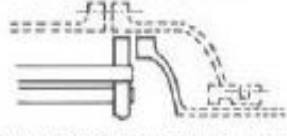
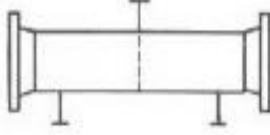
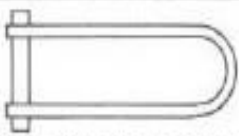
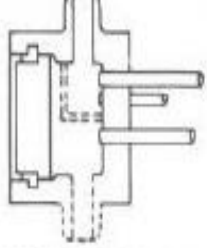
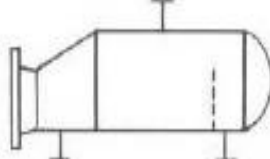

	TYPE DE CHAMBRE DE DISTRIBUTION		TYPE DE CALANDRE		TYPE DE TETE FLOTTANTE ET DE FOND DE CALANDRE		
A	 CHAMBRE AVEC COUVERCLE DEMONTABLE	E	 UNE PASSE CALANDRE	L	 PLAQUE TUBULAIRE FIXE IDENTIQUE AU TYPE "A" CHAMBRE		
				M	 PLAQUE TUBULAIRE FIXE IDENTIQUE AU TYPE "B" CHAMBRE		
B	 CHAMBRE A FOND ET BRIDE MONOBLOC	F	 DEUX PASSES CALANDRE AVEC CHIGANE LONGITUDINALE	N	 PLAQUE TUBULAIRE FIXE IDENTIQUE AU TYPE "C" CHAMBRE		
				P	 TETE FLOTTANTE AVEC PRESSE-ETOUPE EXTERIEUR		
C	FAISCEAU DEMONTABLE  PLAQUE TUBULAIRE FIXE  CHAMBRE MONOBLOC AVEC PLAQUE TUBULAIRE ET COUVERCLE DEMONTABLE	G	 FLUX DIVISE	S	 TETE FLOTTANTE AVEC COURONNE DE FIXATION EN 2 ELEMENTS		
				H	 DOUBLE FLUX DIVISE	T	 TETE FLOTTANTE A PASSAGE LIBRE
				J	 FLUX DIVISE A 2 SORTIES	U	 FAISCEAU TUBULAIRE AVEC TUBES EN EPINGLES "U"
D	 FERMETURE SPECIALE POUR HP	K	 REBOUILLEUR "TYPE CHAUDIERE"	W	 TETE FLOTTANTE AVEC JOINT TYPE "LANTERNE"		

Figure II.33 : Classification des échangeurs selon la norme TEMA [8]

Conclusion :

Le choix d'un échangeur de chaleur pour une application donnée dépend de nombreux paramètres : les propriétés physiques des fluides, leur agressivité, les températures ainsi que les pressions de service .les contraintes d'encombrement et de maintenance doivent aussi être prise en compte, ainsi que les considérations économiques. [3]

III.1. Les problèmes de fonctionnement : [3]

Les principaux problèmes de fonctionnement rencontrés par les utilisateurs d'échangeur de chaleur ont trait aux phénomènes d'encrassement, de corrosion, de vibration et de tenue mécanique.

III.1.1. Encrassement :

a. Définition :

L'encrassement peut être défini comme l'accumulation des éléments solide indésirables sur l'interface, affecte une grande variété d'opérations industrielles.

Ce dépôt qui évolue dans le temps, peut être constitué de cristaux, de sédiments, de résidus biologiques, des produits d'une réaction chimique ou bien encore être la combinaison de plusieurs de ces éléments.

Après un certain temps de fonctionnement, les anomalies les plus courantes sont en générale due a l'encrassement et a la corrosion qui provoquent la diminution du coefficient d'échange thermique, et peuvent aller jusqu'au bouchage, et la perforation des échangeurs.

L'encrassement et la corrosion restent les phénomènes les moins compris de l'industrie ; ils se traduisent par :

- Un surdimensionnement des appareils dans les bureaux d'études ;
- Une dépense d'énergie supplémentaire ;
- Le remplacement des appareils corrodés ;
- Des couts d'arrêt des installations pou démontage et nettoyage.



Figure III.1 : Encrassement de l'échangeur de chaleur (photo réelle)

b. Les causes d'encrassement :

Les causes d'encrassement sont diverses selon les origines, on peut distinguer essentiellement :

-Encrassement due aux matières de suspension sous forme insolubles, sableuses ou argileuses apporté par l'eau avant l'introduction dans le circuit .Elles peut être déposé par tout ou la vitesse de circulation est réduire.

-Encrassement due aux organismes : surtout dans le circuit de refroidissement à recyclage, les conditions (aération, lumière, température,...) sont très favorables au développement des organismes vivants (algues, champignons,...).

- Encrassement due a la précipitation des sels minéraux, déposés sur les parois des échangeurs.

c. Différents types d'encrassement :

Il est possible de classer l'encrassement selon le mécanisme qui contrôle la vitesse de dépôt, selon les conditions d'utilisation de l'échangeur ou selon le mécanisme dominant de l'encrassement est conduit à distinguer les six types différents peuvent alors être définis :

• Encrassement particulière :

Le dépôt inévitable d'une parte de ces particules sur la surface d'échange puis leur accumulation crée l'encrassement particulière, généralement les fluides industriels qui transport des particules sont :

-l'eau des chaudières contenant des produits de corrosion, celle des tours de refroidissement, des particules transportées par l'air et des produit de corrosion.

-Les écoulements gazeux pouvant être fortement chargés de particules de poussières ;

-les fumées industrielles de résidus solides de combustion.

• Corrosion :

L'encrassement par corrosion est le résultat d'une réaction chimique ou électrochimique entre la surface de transfert de chaleur et le fluide en écoulement. Les produits de la réaction qui se forment et restent sur la surface d'échange créent l'encrassement.

• Entartrage :

L'entartrage d'une surface d'échange est généralement associé à la production d'un solide cristallin a partir d'une solution liquide.

Il dépend donc de la composition de l'eau industrielle.

L'entartage peut se produire dans les échangeurs refroidis à l'eau, dans les unités de dessalement d'eau de mer ou saumure, dans les chaudières



Figure III.2 : dépôt la tarte formée sur les faisceaux tubulaires de l'échangeur (photo réelle)

- **Encrassement biologique :**

L'encrassement biologique est dû au développement de micro-organismes qui créent un film au contact de la surface d'échange ; il peut même, à l'échelle macroscopique, être caractérisé par le développement de coquillages, la tendance à l'encrassement biologique est naturelle puisque les bactéries sont présentes dans l'eau.

- **Encrassement par réaction chimique :**

On rencontre ce type d'encrassement quand une réaction chimique se produit près d'une surface d'échange et que les solides produits par la réaction s'y déposent. Cette réaction est souvent une polymérisation ; il en résulte la formation d'un dépôt.

Les domaines concernés sont essentiellement l'industrie pétrochimique, les circuits de chauffage utilisant des fluides organiques.

- **Encrassement par solidification :**

Il s'agit de la solidification d'un liquide pur au contact d'une surface d'échange sous-refroidie (formation d'une couche de glace à l'intérieur des conduites forcées ou de givre) ou du dépôt d'un constituant à haut point de fusion d'un liquide au contact d'une surface de transfert de chaleur froide.

d. Prévention de l'encrassement : [5]

Plusieurs méthodes existent pour limiter l'encrassement dans les échangeurs. Le choix de l'une ou de plusieurs de celles-ci dépend bien entendu de l'efficacité de la méthode, du type d'encrassement et aussi de nombreux paramètres économiques.

Les efforts les plus importants pour atténuer les effets néfastes de l'encrassement se situent essentiellement pendant les phases de fonctionnement et d'arrêt de l'échangeur.

Mais en fait, il est possible d'avoir une action positive pendant les quatre stades suivants de la vie d'un échangeur :

- Dimensionnement
- Construction et montage
- Fonctionnement
- Arrêt.

Les procédés mécaniques ou chimiques de prévention de l'encrassement pendant la phase de fonctionnement de l'échangeur peuvent améliorer de façon significative les performances de l'appareil, mais également permettent d'augmenter le temps de service entre deux arrêts de maintenance.

Les techniques utilisées pour les liquides sont bien adaptées lorsque les dépôts sont tendres et friables. Diverses techniques sont disponibles sur le marché pour le nettoyage en continu de la surface interne d'échangeurs tubulaires : à boules, à brosses ou à ressort. Ces procédés nécessitent une filtration en amont de l'échangeur.

Le dimensionnement devra prendre en compte les recommandations suivantes :

- Utiliser de préférence un faisceau à pas carré pour faciliter le nettoyage manuel.
- Equiper l'échangeur de plusieurs événements pour permettre le relâchement des vapeurs corrosives, ainsi que équipements annexes pour recueillir ces vapeurs.
- Essayer de maintenir à une valeur aussi élevée que la vitesse de circulation de fluide pour minimiser l'épaisseur des dépôts.
- Un surdimensionnement des surfaces de contact.
- D'utilisation de surface lisse pour résister à l'adhérence des très petits cristaux.

e. Méthodes de nettoyage des échangeurs pendant les phases d'arrêt :

Il est indispensable de procéder à un nettoyage complet de l'appareil. Cette opération s'effectue pendant les phases d'arrêt de l'installation et deux méthodes peuvent être utilisées (soit ensemble soit séparément) :

- Nettoyage mécanique
- Nettoyage chimique.

.Nettoyage mécanique :

Effectuer le nettoyage mécanique pendant les phases d'arrêt sur l'échangeur en place lorsque l'espace disponible le permet ou sur une aire de nettoyage. Plusieurs techniques peuvent être mises en œuvre.

Le nettoyage à l'eau sous pression est une technique très efficace pour enlever les dépôts à l'intérieur ou à l'extérieur des tubes d'échangeur.

De façon occasionnelle, de sable peut être injecté avec l'eau pour arracher les dépôts durs. Mais dans ce cas, il y a un risque d'érosion de la surface et surtout de destruction du film protecteur anticorrosion.

Il existe plusieurs types d'appareils remplissant ces diverses fonctions. En générale le niveau de pression est un élément de choix important.

Le nettoyage à l'eau sous pression est une technique éprouvée et utilisée dans les industries les plus diverses (industrie pétrolières, chimiques,...etc.).

On peut avoir aussi le nettoyage à l'aide d'outils, cette technique est utilisée pour enlever les dépôts même très durs à l'intérieur des tubes rectiligne de chaudières, de condenseurs ou de tous autres échangeurs de chaleur.



Figure III.3 : Nettoyage mécanique

. Nettoyage chimique :

On peut citer plusieurs avantages existant dans ce mode de nettoyage :

- C'est une opération relativement rapide et efficace.
- Les surfaces d'échange ne subissent pas de dégâts mécaniques importants.
- Les solutions chimiques pénètrent jusqu'aux zones inaccessibles de l'échangeur et le traitement de toute la surface d'échange est réalisé.
- C'est une opération qui nécessite moins de main-d'œuvre que le nettoyage mécanique.

Les opérations de nettoyage chimique nécessitent généralement une technique de circulation de telle sorte que la solution chimique soit toujours bien mélangée et qu'il n'y ait pas accumulation de produits au contact de la surface d'échange.



Figure III.4 : Nettoyage chimique (image réelle)

III.1.2. Corrosion : [3]

a. définition :

La corrosion est la dégradation des matériaux sous l'action du milieu ambiant. Initialement, le terme corrosion a été utilisé pour le processus de dégradation des matériaux métalliques par un milieu agressif. Il a été entendu ultérieurement à la dégradation par un milieu agressif des matériaux non métallique. Souvent, dans la littérature spécialisée, la notion de corrosion est évoquée par le terme résistance chimique ou physico-chimique.



Figure III.5 : la corrosion (photo réelle)

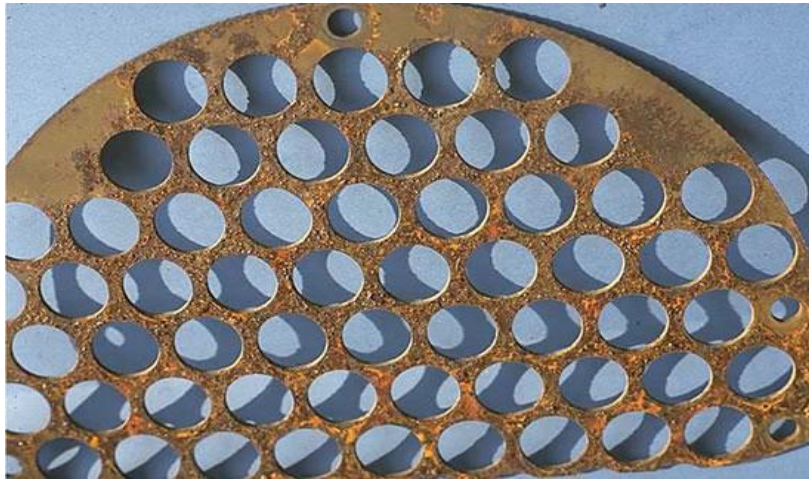


Figure III.6 : la corrosion uniforme d'une chicane en acier (photo réelle)

Les mécanismes de dégradation des matériaux métalliques et non métalliques sont pratiquement toujours différents dans leur principe mais ils conduisent au même résultat pratique, c'est-à-dire la destruction du matériau.

b. Processus de dégradation :

La dégradation des matériaux métalliques par un milieu agressif peut se faire suivant des processus chimique ou électrochimique.

- **Corrosion chimique :**

C'est un processus d'oxydoréduction entre le métal et le milieu corrosif qui se déroule conformément à la cinétique chimique. Dans ce type de corrosion, l'oxydation du métal et la réduction de l'agent agressif se font au même endroit et sans échange de charge électrique.

De même, les produits de corrosion se forment directement dans la zone corrodée. Ce mode de corrosion concerne notamment l'oxydation à haute température des métaux et alliages dans l'air et la corrosion dans ces milieux diélectrique (non conducteurs de courant électrique).

- **Corrosion électrochimique :**

Elle est due à l'attaque des métaux par des liquides électro-conducteurs. Dans ce cas, le processus de corrosion s'accompagne d'un courant électrique qui circule à l'intérieur du réseau métallique. Les zones où se produisent l'oxydation du métal et la réduction du milieu peuvent être pratiquement confondues ou relativement éloignées (quelques micromètres à quelques centimètres).

c. Différents types de corrosion :

Plusieurs cas types de corrosion peuvent être distingués suivant l'aspect (la morphologie) des dégradations.

- **Corrosion généralisée :**

La corrosion se produit avec la même vitesse sur toute la surface du métal en contact avec le milieu agressif. On a l'habitude d'adopter une surépaisseur de corrosion qui tient compte de la durée de vie que l'on désire pour l'appareil en fonction de la vitesse de corrosion.

- **Corrosion localisée :**

La corrosion se produit avec des vitesses différentes à divers endroits de la surface du métal ; elle peut présenter les formes suivantes :

- Corrosion par piqures, localisée dans certains endroits ponctuel ; sur le reste de la surface, le métal n'est pas corrodé ;
- Corrosion inter cristalline, se manifestant uniquement aux joints des grains du métal ;
- Corrosion sous tension, se produisant dans une zone sollicitée par une contrainte mécanique. Ce type de corrosion provoque des fissures perpendiculaires à la direction de contrainte ;
- Fatigue-corrosion ; la fatigue en milieu corrosif conduit à la fissuration et à la rupture pour un nombre de cycles et une contrainte bien inférieurs au cas de fatigue en milieu non corrosif ;
- Corrosion galvanique, se produisant lorsque deux métaux différents (ayant un potentiel électrochimique différent) sont entre eux dans un milieu corrosif. Le contact des deux métaux forme une pile électrique qui débite un courant provoquant corrosion du métal le plus négatif.
- Corrosion cavernueuse ; au contact imparfait entre un métal et un non-métal se forme une fente (caverne) dans laquelle le liquide stagne. Dans le cas où l'on a affaire à de l'eau ou à une solution aqueuse, l'oxygène dissous dans l'eau se consomme dans un processus de corrosion. L'eau stagnant dans la fente est ainsi appauvrie en oxygène et forme avec l'eau ambiante (extérieure) une pile de concentration ; le courant de cette pile corrode le métal non aéré par un processus électrochimique ;
- Corrosion biologique ; le métal est attaqué par des produits secondaires dus à la présence en micro-organismes (par exemple, corrosion par des sulfures provenant de la réduction des sulfates par des bactéries) ;
- Corrosion sélective ; dans un alliage, seul un des composants est attaqué, ce qui détruit la pièce qui devint poreuse et perd toute sa résistance mécanique.

Le processus de corrosion est influencé par une série de paramètres lesquels on peut citer (sans être exhaustif) les suivants :

- La nature de l'alliage ou du métal ;
- La nature du fluide agressif ;
- Les conditions physico-chimiques (température, agitation, vitesse d'écoulement, etc.) ;
- L'état de surface du métal.

d. Protection contre la corrosion :

La protection contre la corrosion doit répondre à des sollicitations complexes et variées du point de vue matériaux, mécanismes, milieux agressifs, facteurs mécaniques et physico-chimique, etc. il existe une multitude de moyens de lutte contre la corrosion : la très grande majorité d'entre eux font appel à un des deux modes d'action suivant :

-action sur le matériau ;

-action sur le milieu agressif.

Dans le premier groupe sont compris :

-L'utilisation des métaux et alliages ou des matériaux non métalliques résistant à la corrosion ;

- Les traitements de surface améliorant le comportement globale de la pièce.

Dans le deuxième groupe sont comprises toutes les actions susceptibles de diminuer l'agressivité du milieu ambiant et notamment l'utilisation d'inhibiteurs de corrosion.

Un groupe à part dans la protection contre la corrosion est constituée par les méthodes électrochimiques, à savoir la protection cathodique et la protection anodique.

Etant donnée la multitude de cas qui peuvent se présenter, tant en ce qui concerne le milieu agressif que les matériaux existants, ainsi que les autres sollicitations auxquelles ils sont soumis, un choix optimal de la solution de la protection est difficile à faire.

Dans la littérature spécialisée, il existe des tables de corrosion qui indiquent, pour divers cas, le ou les matériaux susceptibles de résister ; certaines d'entre elles sont maintenant informatisées. Mais il est hasardeux de faire un choix uniquement à partir de ces tables puisque, dans le processus de corrosion, intervient une multitude de facteurs particuliers qui sont propres à chaque cas. Parmi ces facteurs, on peut citer sans être exhaustifs :

-Les contraintes mécaniques variables (fatigue) ou continues ;

-La présence de zones stagnantes ;

-Le contact avec d'autre matériau métalliques ou non métalliques ;

-Les températures locales importantes qui peuvent augmenter localement la concentration de produit agressif ;

-La présence d'impuretés dans le fluide agressif qui peuvent augmenter notablement la corrosivité.

En tenant compte de tous les paramètres propres au cas considéré, le choix peut être facilité par des considérations plus larges concernant la résistance des divers matériaux par rapport à un fluide ou à une classe de fluides agressifs.

III.1.3.Vibrations :

Les vibrations constituent un paramètre essentiel à prendre en compte dans la conception d'un échangeur, au même titre que les transferts de chaleur ou les pertes de charge. Outre les aspects classiques (chocs, spectre de vibrations) issus du milieu extérieur, les échangeurs induisent leurs propres vibrations sous l'effet du fluide qui les parcourt.

Suivant la vitesse d'écoulement du fluide côté calandre, les tubes qui vibrent à leurs fréquences propres peuvent se déplacer suffisamment pour entrer en collision. Il s'ensuit un phénomène de fatigue pouvant aller jusqu'à la fuite ou la rupture.

Conclusion :

L'essentiel du travail consiste à évaluer les paramètres intrinsèques aux tubes (fréquences propres, amortissement), les caractéristiques hydrauliques du fluide côté calandre, et à analyser le couplage fluide/ tubes.

Introduction :

La séparation du gaz brut (condensat et GPL) s'effectue par deux types de détente (vanne Joule Thomson et Turboexpender). Le gaz détendu doit être à une température basse (-4 à -7 °C).le gaz arrivant des puits avec des températures élevées passe par un certain nombre des échangeurs (aéroréfrigérant et échangeurs à faisceau et calandre)

Parmi ces échangeurs, on a travaillé sur l'échangeur qui est un échangeur type faisceau.

IV.1.Présentation de l'échangeur de chaleur E05 :

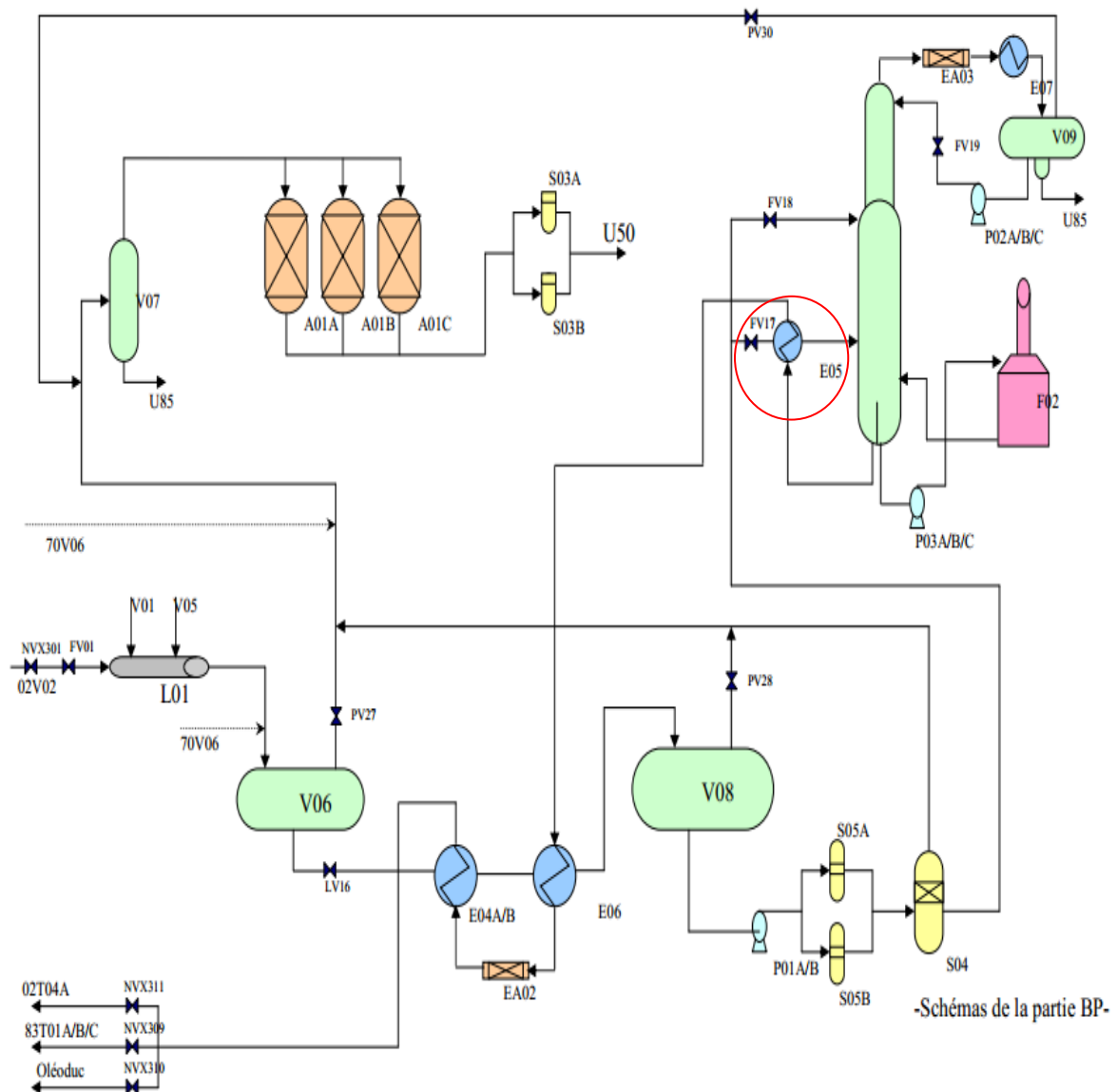


Figure IV.1 : Schéma générale de la partie BP (basse pression) [1].

IV.2. Description de l'échangeur E05 : [16]

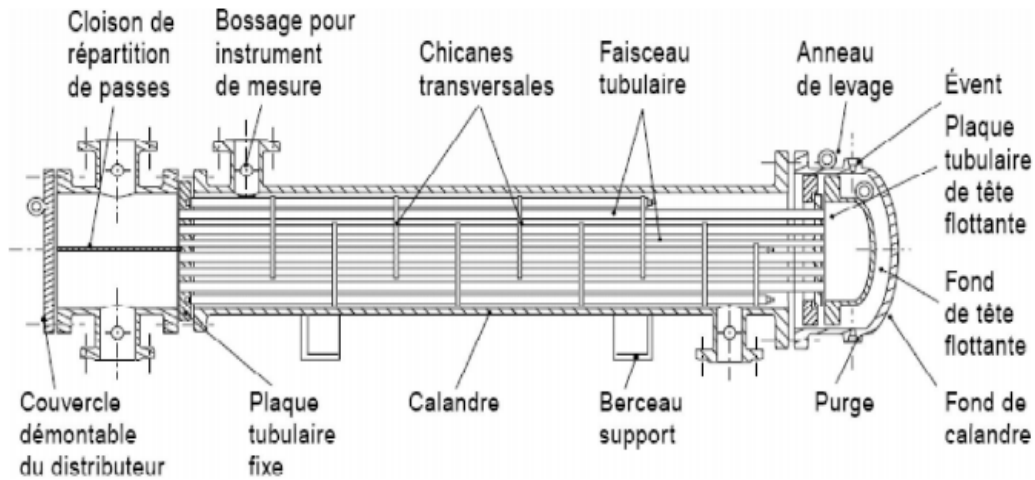


Figure IV.2 : Schéma de l'échangeur E05 à tête flottante [6].

E05 est un échangeur à tête flottante de type BES selon la norme TEMA, il est caractérisé par deux passes coté tube et une passe coté calandre, sa fonction est le préchauffage de la stabilisation.

IV.2.1. Mode de fonctionnement :

E05 a un rôle important dans le procès, il se trouve au niveau de la partie basse pression des trains, il contient deux fluides en circulation :

Le condensat venant du fond de la colonne C-01 à 250°C entre dans le coté tubes de l'échangeur où il perd son énergie thermique puis il sort à 168°C vers l'échangeur E06.

Le gaz qui vient de filtrer S-04 entre dans le coté calandre à 52.3°C où il reçoit une quantité d'énergie qui a été perdue par le condensat et sort à 166°C vers la tête de colonne C-01 (au 13^{ème} plateau).

IV.3. Caractéristiques techniques de l'échangeur E05 :

Tableau IV.4 : Caractéristiques mécaniques de l'échangeur E05 :

Fluide	Condensat (tubes)	Hydrocarbures (calandre)
Pression de calcul kg/cm ²	34	28
Température de calcul °C	300	190
Pression de service kg/cm ²	22	25
Température de service °C	250/168	52.3/166

➤ **Faisceau tubulaire :**



Figure IV.3.Faisceau tubulaire (photo réelle).

- Type des tubes : A 179
- Nombre des tubes : 563
- Longueur : 6.096 m
- Diamètre extérieur : 0.01496 m
- Nombre de passe : 2

➤ **La calandre :**



Figure IV.4.La calandre (photo réelle).

- Couvercle de la calandre : en tête flottante
- Diamètre extérieur : 0.762 m
- Nombre de passe : 1

➤ **plaques tubulaires :**

Portant la boîte de distribution d'une part et la boîte de retour (couvercle de la calandre) D'autre part .Le nettoyage mécanique de l'espace entre tubes est facile comme les plaques tubulaires sont démontables.

Tableau IV.2 : caractéristiques techniques de plaques tubulaires de l'échangeur E05.

Diamètre de la plaque tubulaire	0.45
Epaisseur de la plaque	0.0047 m
Matériau de la plaque	SS duplex

➤ **Tirants et entretoises :**

Ce sont des dispositifs assurant la liaison du système de chicanes qui ont pour objet de maintenir les chicanes et les plaques tubulaires support solidement en place.

Tableau IV.3 : Caractéristiques techniques des tirants de l'échangeur E05.

Longueur de tirants	2.12m
Nombre de tirants	8
Diamètre de tirants	0.013m
Matériau de tirants	SS duplex

Tableau IV.4 : Caractéristique techniques des entretoises de l'échangeurE05.

Longueur d'entretoise	$L_1=0.4895$
	$L_2=0.64105$
	$L_3=0.145$
	$L_4=0.297$
Nombre d'entretoise	9
Matériau d'entretoise	A 179

➤ **Boîte de distribution :**

C'est l'organe qui distribue ou recueille le fluide aux extrémités des tubes.

Tableau IV.5 : Caractéristique techniques de la boîte de distribution.

Nombre des boîtes	1 boîte
Matériau de la boîte de distribution	SS duplex

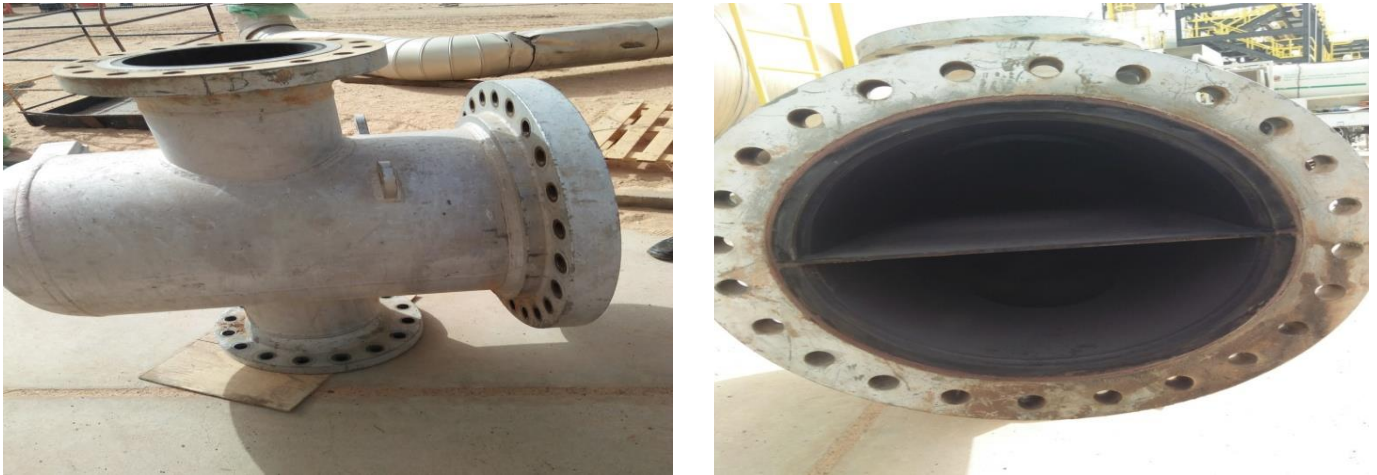


Figure IV.5. Boîte de distribution (photo réelle).

➤ **Défecteurs :**

Les défecteurs sont installés au niveau des tubulures ont pour but de la diminution de l'érosion des tubes par le flux des fluides. Comme la direction de passage de fluide n'est pas d'avance comme on place les défecteurs près des deux tubulures.

Conclusion :

L'échangeur E05 est un échangeur qui résiste aux fortes pressions, toutes puissances, accepte des grands écarts de températures et économique ; mais il a comme inconvénients la difficulté de nettoyage Sensible aux vibrations, contraintes sur les tubes.

Introduction

Dans tout calcul d'échangeur de chaleur, le but est obtenir la récupération d'une certaine quantité de chaleur dans des conditions économiques optimales qui sont un compris entre les frais d'investissement et les frais opératoires [9].

Le calcul de tout appareil comportera donc toujours deux études parallèles : transfert thermique et perte de charge.

V.1.Principes de calcul : [3]

Plusieurs critères sont à considérer pour le dimensionnement d'un échangeur suivant son utilisation. La puissance thermique est toujours la principale préoccupation, mais le choix définitif de l'échanger peut dépendre d'autres paramètres tels que :

- Les pertes de pression ;
- L'encrassement ;
- La masse ;
- L'encombrement ;
- Une température de paroi à ne pas dépasser ;
- Les matériaux utilisés ;
- Etc.

Deux types de calcul thermique sont envisageables pour la caractérisation de l'échangeur :

- La détermination de la surface d'échange S connaissant la puissance échangée et les températures d'entrée et de sortie des deux fluides.
- La détermination des températures de sortie des fluides, connaissant leurs températures d'entrée et la surface d'échange.

V.2.Calcul d'un échangeur à faisceau et calandre : [9]

1. Bilan thermique :

Quel que soit le type d'appareil utilisé, si l'on ne prend en considération que les conditions d'entrées et de sortie des deux fluides , il est possible d'établir le bilan thermique global de l'appareil en écrivant que la quantité de chaleur Φ perdue par le fluide chaud est égale à celle prise par le fluide froid, si l'on néglige les pertes thermiques :

$$\Phi = \dot{m}_c C_{pc} (T_{ce} - T_{cs}) = \dot{m}_f C_{pf} (T_{fs} - T_{fe}) \quad \text{V.1}$$

2. Calcul de la(DTLM) :

L'évolution de la température de chaque fluide à partir des températures d'entrée conditionne directement la valeur moyenne de ΔT .

Elle est fonction de :

- La nature et des débits respectifs des deux fluides.
- Sens d'écoulement relatif des deux fluides qui peuvent circuler soit à contre-courant pur ou à courants parallèles.

L'étude de DTLM dans un appareil s'effectuera en supposant que le coefficient global de transfert U est constant en tout point, ainsi que les chaleurs spécifiques des fluides et qu'il n'y a ni pertes thermique, ni changement de phase au cours du transfert.

$$DTLM = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}}{2.3 \log \frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\min}}} \quad V.2$$

a. Contre-courant pur :

L'écoulement à contre-courant pur n'est réalisé que dans les échangeurs doubles tube. Pour l'ensemble de l'appareil la quantité échangée s'écrit, en supposant un coefficient moyen de transfert U constant tout le long du tube :

$$\Phi = U A \Delta T_m = U A (DTLM) \quad V.3$$

Si l'on appelle Δt_1 et Δt_2 les différences de température des fluides à chaque extrémité :

$$\Delta t_1 = T_{ce} - T_{fs} \quad \text{À l'extrémité chaude.} \quad V.4$$

$$\Delta t_2 = T_{cs} - T_{fe} \quad \text{À l'extrémité froide.} \quad V.5$$

b. Courants parallèles :

Si dans un appareil à double tube, on inverse le sens de circulation de l'un des fluides en permutant l'entrée et la sortie, l'échange s'effectue alors parallèles. Les différences de températures :

$$\Delta t_1 = T_{ce} - T_{fe} \quad V.6$$

$$\Delta t_2 = T_{cs} - T_{fs} \quad V.7$$

À chaque extrémité sont très différentes en appliquant à cet appareil le même mécanisme de calcul que celui utilisé pour le contre-courant.

Toutefois, l'identité des formules dans les deux systèmes de circulation montre que le contre-courant pur est plus avantageux car, pour un DTLM la plus grande, c'est-à-dire la surface d'échange la plus faible.

3. Nombre de passes :

$$R = \frac{T_{ce} - T_{cs}}{T_{fs} - T_{fe}} \quad V.8$$

$$E = \frac{T_{fs} - T_{fe}}{T_{ce} - T_{fe}} \quad V.9$$

On peut écrire l'équation générale de transfert sous la forme :

$$\Phi = U A F(DTLM) \quad V.10$$

Avec :

$$F = \frac{\sqrt{R^2+1} \log \frac{1-E}{1-ER}}{(R-1) \log \frac{2-E(R+1-\sqrt{R^2+1})}{2-E(R+1+\sqrt{R^2+1})}} \quad V.11$$

Le terme E caractérise le rendement de l'échangeur. En effet, la limite supérieure de la température de sortie de fluide froid est égale à température d'entrée de fluide chaud. On peut donc écrire :

$$E = \frac{(T_{fs}-T_{fe}) \dot{m}_f C_{pf}}{(T_{ce}-T_{fe}) \dot{m}_c C_{pc}} = \frac{\text{Chaleur échangée}}{\text{Chaleur max.échangeable}} = \text{Rendement thermique} \quad V.12$$

Le terme F mesure l'efficacité de l'appareil par rapport au contre-courant pur.

Il est intéressant d'étudier l'incidence de la différence de température ($T_{cs} - T_{fs}$) sur la valeur du coefficient F. on devra éviter dans tous les cas le croisement des températures de sortie, T_{cs} et T_{fs} . on remarquera par ailleurs que, pour $T_{cs} = T_{fs}$, l'efficacité F reste pratiquement égale à 0.8 pour les valeurs courantes de R comprises entre 0.1 et 10. C'est pourquoi, il est conseillé dans les calculs d'échangeurs de ne pas adopter de valeurs de F inférieures à 0.75.

4. Résistance d'encrassement

Le coefficient de transfert U_p précédemment calculé permettrait de définir une surface A_p , dite propre, telle que :

$$A_p = \frac{\Phi}{U_p F (DTLM)} \quad V.13$$

Cette surface A_p est convenable pour un échangeur neuf qui doit transférer la quantité de chaleur. Mais on a vu que, après un certain temps d'utilisation, il se produit des dépôts constituant des résistances R_{si} et R_{so} au transfert de chaleur, de sorte que le coefficient de transfert global diminue. Dans ces conditions, la surface devient très rapidement insuffisante pour assurer l'échange. Il est donc indispensable de calculer la surface de l'appareil pour la valeur minimale admissible de coefficient de transfert quand l'échangeur est sale.

Dans le calcul des échangeurs, on évaluera à l'aide des tables, la résistance totale à l'encrassement :

$$R_s = R_{so} + R_{si} \frac{d_{ext}}{d_{int}} \quad V.14$$

Et l'on obtiendra alors le coefficient de transfert sale :

$$U_s = \frac{1}{\frac{1}{U_p} + R_s} \quad V.15$$

Tel que :

$$A_s = \frac{\Phi}{U_s F(\text{DTLM})} \quad \text{V.16}$$

Inversement pour un appareil de surface donnée A_s , on calculera U_p et U_s et on vérifiera que :

$$R_s = \frac{U_p - U_s}{U_p U_s} \quad \text{V.17}$$

Correspond bien que aux valeurs standards des tables pour les fluides considérées

La valeur du coefficient d'encrassement dépend non seulement de la nature du fluide, mais également de sa température, de son origine et de son vitesse de circulation.

Enfin, l'expérience industrielle a permis d'établir des valeurs moyennes de coefficient de transfert sale en fonction de la nature des fluides en circulation et de leur rôle en chauffage ou refroidissement.

5. Estimation du nombre de tubes total N_t :

KERN propose dans un tableau un décompte de tubes en fonction du diamètre intérieur de la calandre, de nombre de passe dans le faisceau du diamètre des et de leurs dispositions.

Soit :

$$N_t = \frac{A_s}{\pi d_{\text{ext}} L} \quad \text{V.18}$$

6. Températures caloriques :

Le problème consiste à définir pour les fluides des températures moyennes T_c et t_c appelés généralement températures caloriques, telles que le coefficient de transfert local propre U_p calculé pour ces températures puisse être considéré comme un coefficient moyen asocial à la DTLM. On pose :

$$T_c = T_{cs} + F_c(T_{ce} - T_{cs}) \quad \text{V.19}$$

$$t_c = T_{fe} + F_c(T_{fs} - T_{fe}) \quad \text{V.20}$$

Pour les échangeurs classiques de chaleur, la différence des températures caloriques ($T_c - t_c$), calculée en admettant une variation linéaire de U en fonction de la température, et toujours sensiblement très voisine de la DTLM calculée permet donc le calcul direct de F_c , puis des températures caloriques :

$$F_c = \frac{\text{DTLM} - \Delta T_f}{\Delta T_c - \Delta T_f} \quad \text{V.21}$$

7. Coefficient de transfert de chaleur propre U_p :

Pour un élément de tube de longueur dl , le flux de chaleur correspondant s'écoulera en rencontrant cinq résistances.

- $R_o = \frac{1}{h_o}$: résistance dans le fluide à l'extérieur du tube ;

- R_{so} : résistance due au film d'encrassement déposé sur l'extérieur du tube ;

- R_i : résistance due à la paroi métallique du tube (cette résistance peut être négligée dans les calculs) ;

- R_{si} : résistance due au film d'encrassement déposé à l'intérieur du tube ;

- $R_c = \frac{1}{h_c}$: résistance dans le fluide à l'intérieur du tube.

On convient de choisir, en référence, la surface extérieure du tube, ce qui amène à corriger les résistances intérieures on les multipliant par le rapport $(\frac{d_{ext}}{d_{int}})$ des diamètres extérieurs et intérieurs du tube. Ces résistances corrigées s'écrivent :

$$R_{sio} = R_{si} \frac{d_{ext}}{d_{int}} \quad V.22$$

La résistance globale au transfert égale à la somme des quatre résistances. Prendra la forme :

$$R_s = \frac{1}{h_o} + R_{so} + R_{sio} + \frac{1}{h_{io}} = \frac{1}{U_s} \quad V.23$$

U_s est le coefficient de transfert sale relatif à l'élément du tube dl .

Lorsque cette élément est neuf, les résistances R_{so} et R_{sio} sont nulles et on définit alors un coefficient de transfert propre U_p , tel que :

$$\frac{1}{U_p} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{io}} = \frac{h_{io} + h_o}{h_{io} h_o} \quad V.24$$

La détermination des coefficients de transfert locaux U_p et U_s nécessite l'estimation des coefficients de film h_o et h_{io}

8. Calcul du coefficient de transfert propre U_p :

a. Faisceau :

- Section par passe :

$$a_t = \frac{N_t \pi d_{int}^2}{n_t 4} \quad V.25$$

- Vitesse massique :

$$G_t = \frac{\dot{m}_c}{a_t} \quad V.26$$

- les caractéristiques du fluide à la température calorique T_c :

C_p , ρ , λ et μ

- Nombre de Reynolds :

$$Re_t = \frac{d_{int} G_t}{\mu} \quad V.27$$

- Coefficient du film interne :

$$\frac{h_i}{\phi_t} = j_h \frac{\lambda}{d_{int}} \left(\frac{C_p \mu}{\lambda} \right)^{1/3} \quad V.28$$

$$\frac{h_{io}}{\phi_t} = \left(\frac{h_i}{\phi_t} \right) \left(\frac{d_{int}}{d_{ext}} \right) \quad V.29$$

D'où :

j_h : Facteur de transfert thermique coté faisceau.

$$\text{En régime laminaire : } j_h = 1.86 \left(Re \frac{d_{int}}{L} \right)^{1/3} \quad V.30$$

$$\text{En régime turbulent : } j_h = 0.027 (Re)^{0.8} \quad V.31$$

b. Calandre :

- Section par calandre :

$$a_{CT} = \frac{D_c}{p} (p - d_{ext}) B \quad V.32$$

- Vitesse massique :

$$G_{CT} = \frac{\dot{m}_f}{a_{CT}} \quad V.33$$

- Diamètre équivalent :

$$D_e = \frac{4p^2}{\pi d_{ext}} - d_{ext} \quad \text{Pour le pas carré} \quad V.34$$

$$D_e = \frac{3.464p^2}{\pi d_{ext}} - d_{ext} \quad \text{Pour le pas triangulaire} \quad V.35$$

- les caractéristiques du fluide à t_c :

C'_p , ρ' , λ' et μ'

- Nombre de Reynolds :

$$Re_{CT} = \frac{D_e G_{CT}}{\mu'} \quad V.36$$

- Coefficient du film externe :

$$\frac{h_o}{\phi_c} = j'_h \frac{\lambda'}{D_e} \left(\frac{C'_p \mu'}{\lambda'} \right)^{1/3} \quad V.37$$

D'où :

j'_h : Facteur de transfert thermique coté calandre.

Ce facteur est déterminé par l'abaque (annexe 4)

- Détermination de la température du tube :

$$t_t = T_c - \frac{h_{io}/\phi_t}{h_o/\phi_c + h_{io}/\phi_t} (T_c - t_c) \quad \text{V.38}$$

- Détermination de ϕ_t à t_t :

$$\phi_t = \left(\frac{\mu_t}{\mu'_t} \right)^{0.14} \quad \text{V.39}$$

D'où :

μ'_t : viscosité dynamique de fluide chaud à la température du tube.

- Détermination de ϕ_c à t_t :

$$\phi_c = \left(\frac{\mu_c}{\mu'_c} \right)^{0.14} \quad \text{V.40}$$

D'où :

μ'_c : viscosité dynamique de fluide froid à la température de tube.

9. Vérification de la résistance d'encrassement :

$$R_s = \frac{U_p - U_s}{U_p U_s} \quad \text{V.41}$$

$$\text{D'où : } U_s = U'_s \frac{N'_t}{N_t} \quad \text{V.42}$$

N'_t : Nombre de tube calculé.

N_t : Nombre de tube tirer par le tableau (annexe 6) le plus proche de N'_t .

10. Perte de charge :

- *Faisceau* :

L'étude fondamentale de l'écoulement des fluides, a permis d'établir la forme connue sous le nom d'équation de Fanning, valable en régime isotherme pour une longueur droite de tuyauterie de diamètre uniforme.

$$\Delta P_t = \frac{n_c n_t G_t^2}{1.271 \times 10^{15} d} \left(\frac{f_t L + 2}{d_{int} \phi_t} \right) \quad \text{V.43}$$

Le facteur de friction f_t est fonction du nombre de Reynolds est donné par l'expression suivante :

$$\text{En régime laminaire : } f_t = \frac{32}{\text{Re}} \quad \text{V.44}$$

$$\text{En régime turbulent : } f_t = 0.0028 + 0.25\text{Re}^{-0.32} \quad \text{V.45}$$

- **Calandre :**

Cette perte de charge est calculée par la formule suivante :

$$\Delta P_c = \frac{n_c f_c G_c^2 (N_c + 1) D_c}{1.271 \times 10^{15} d D_e \phi_c} \quad \text{V.46}$$

V.3. Calcul thermique de vérification des performances :

V.3.1. Caractéristiques thermo physiques de deux fluides de l'échangeur E05 :

Dans les tableaux ci-dessus nous avons exposés les de base recueillies sur site et la documentation disponible.

Tableau V.1 : Propriétés thermo physiques des deux fluides de l'échangeur E05.

Caractéristiques	Coté calandre (Hydrocarbures)		Coté tube (condensat)		Unités
	T _{fe} = 52.3	T _{fs} = 166	T _{ce} = 250	T _{cs} = 168	
T	T _{fe} = 52.3	T _{fs} = 166	T _{ce} = 250	T _{cs} = 168	°C
C _p	2537.26		3201.88		J/kg. °C
m	m _f = 17.24		m _c = 21.76		Kg/s
ρ	609		524		Kg/m ³
μ	0.1621 × 10 ⁻³		0.096 × 10 ⁻³		Kg/m.s
λ	0.0952		0.1184		J/m. °C

V.3.2. Caractéristiques mécaniques de l'échangeur E05 :

Tableau V.2 : Propriétés mécaniques de l'échangeur E05.

Coté tube	Coté calandre
Diamètre intérieur de tube : d _{int} = 0.01694 (m)	Diamètre de la calandre : D _c = 0.762 (m)
Diamètre extérieur de tube : d _{ext} = 0.01905 (m)	Espacement entre chicanes : B = 0.151 (m)
Epaisseur : e = 0.00211 (m)	Nombre de chicanes : N _c = 33
Loger des tubes : L = 6.096 (m)	

Type des tubes : A179	
Pas triangulaire : p=0.0254(m)	

V.3.3. Vérification de design des échangeurs :

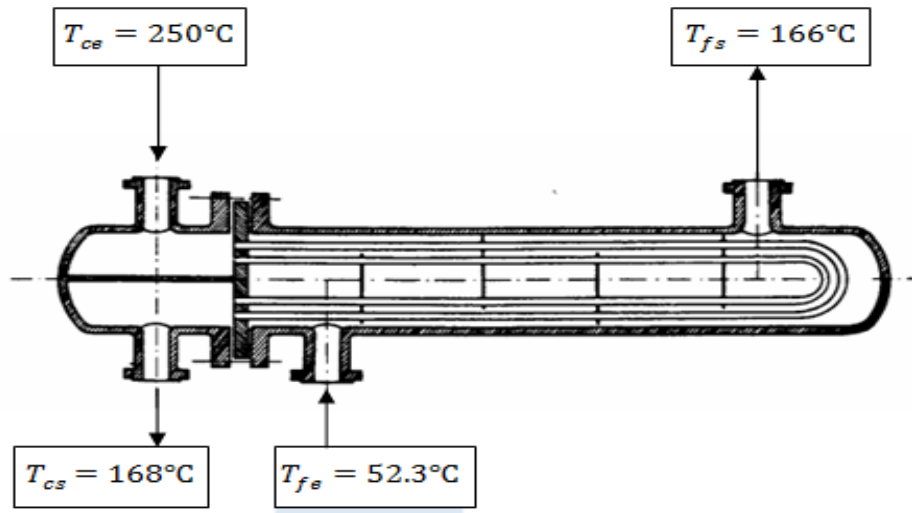


Figure V.1 : Schéma de l'installation de l'échangeur existant E05.

V.4. Calcul thermique :

1. Quantité de chaleur :

- La quantité de chaleur cédée par le fluide chaud :

$$\Phi_{\text{cédée}} = \dot{m}_c C_{pc} (T_{ce} - T_{cs})$$

$$\Phi_{\text{cédée}} = 21.76 \times 3201.88 (250 - 168)$$

$$\Phi_{\text{cédée}} = 5.713 \times 10^6 \text{ W}$$

- La quantité de chaleur reçue par le fluide froid :

$$\Phi_{\text{reçue}} = \dot{m}_f C_{pf} (T_{fs} - T_{fe})$$

$$\Phi_{\text{reçue}} = 17.24 \times 2537.26 (166 - 52.3)$$

$$\Phi_{\text{reçue}} = 5.171 \times 10^6 \text{ W}$$

2. Le rendement :

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{reçue}}}{\Phi_{\text{cédée}}} \times 100$$

$$\eta = \frac{5.17 \times 10^6}{5.713 \times 10^6} \times 100$$

$$\eta = 90\%$$

On note bien que l'efficacité de ce transfert, qui caractérise généralement par la conversion d'une d'énergie est très acceptable et bénéfique avec un taux de $\approx 90\%$.

3. Calcul de DTLM :

$$DTLM = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

$$\Delta T_1 = T_{cs} - T_{fe} = 168 - 52.3 = 115.7^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_{ce} - T_{fs} = 250 - 166 = 84^\circ\text{C}$$

$$DTLM = \frac{115.7 - 84}{\ln \frac{115.7}{84}}$$

$$DTLM = 99^\circ\text{C}$$

4. Calcul de facteur de correction F :

$$E = \frac{T_{fs} - T_{fe}}{T_{ce} - T_{fe}}$$

$$E = \frac{166 - 52.3}{250 - 52.3}$$

$$E = 0.575$$

$$R = \frac{T_{ce} - T_{cs}}{T_{fs} - T_{fe}}$$

$$R = \frac{250 - 168}{166 - 52.3}$$

$$R = 0.721$$

A partir de l'abaque (voir l'annexe 1), on tire

$$F = 0.98$$

Le nombre de passe : $n_c = 1$ et $n_t = 2$

5. Calcul de la surface A :

$$A = \frac{\Phi}{U'_s F DTLM}$$

Estimation du coefficient de transfert sale U'_s : d'après le tableau (annexe 2).

$$200 \text{ kcal}/(\text{h.m}^2.\text{°C}) < U'_s < 370 \text{ kcal}/(\text{h.m}^2.\text{°C})$$

La valeur estimée est $U'_s = 285 \text{ kcal}/(\text{h.m}^2.\text{°C}) = 331 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{°C})$.

- Estimation de la surface d'échange :

$$A = \frac{5.713 \times 10^6}{331 \times 0.98 \times 99}$$

$$A = 178 \text{ m}^2$$

6. Calcul du nombre des tubes N'_t :

- Calcul de la surface d'échange d'un tube :

$$a = \pi d_{\text{ext}} L$$

$$a = \pi \times 0.01905 \times 6.096$$

$$a = 0.364 \text{ m}^2$$

- Estimation du nombre de tubes par calandre :

$$N'_t = \frac{A}{a n_c}$$

$$N'_t = \frac{178}{0.364 \times 1}$$

$$N'_t = 489 \text{ tubes}$$

7. Calcul du coefficient de transfert sale U_s :

$$U_s = U'_s \frac{N'_t}{N_t}$$

$$U_s = 331 \times \frac{489}{563}$$

$$U_s = 286.3 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

8. Températures caloriques :

$$T_c = T_{cs} + F_c(T_{ce} - T_{cs})$$

$$t_c = T_{fe} + F_c(T_{fs} - T_{fe})$$

$$\text{Avec : } F_c = \frac{\text{DTLM} - \Delta T_{\text{fr}}}{\Delta T_{\text{ch}} - \Delta T_{\text{fr}}}$$

$$\Delta T_{\text{fr}} = T_{cs} - T_{fe} = 168 - 52.3 = 115.7^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{ch}} = T_{ce} - T_{fs} = 250 - 166 = 84^\circ\text{C}$$

$$F_c = \frac{99 - 115.7}{84 - 115.7}$$

$$F_c = 0.53$$

Pour :

- Fluide chaud : $T_c = 168 + 0.53(250 - 168)$

$$T_c = 211.46^\circ\text{C}$$

- Fluide froid : $t_c = 52.3 + 0.53(166 - 52.3)$

$$t_c = 112.5^\circ\text{C}$$

Propriétés thermo physiques des deux fluides à T_c et t_c :

Tableau V.3 : Caractéristiques thermo physiques des deux fluides à T_c et t_c .

Caractéristiques	Coté tube	Coté calandre	Unités
Température calorique	$T_c = 211.46$	$t_c = 112.5$	°C
Chaleur spécifique	$C_p = 3222.19$	$C_p' = 2547.6$	J/kg. °C
Masse volumique	$\rho = 520.88$	$\rho' = 606.2$	Kg/m ³
Viscosité dynamique	$\mu = 0.094 \times 10^{-3}$	$\mu' = 0.158 \times 10^{-3}$	Kg/m. s
Conductivité thermique	$\lambda = 0.1120$	$\lambda' = 0.094$	J/m. °C

9. Calcul du coefficient de transfert propre U_p :

Pour calculer le coefficient de transfert propre (U_p) , il est nécessaire de passer par les étapes suivantes :

➤ **Coté faisceau :**

- Section par passe :

$$a_t = \frac{N_t \pi d_{int}^2}{n_t \cdot 4}$$

$$a_t = \frac{563 \pi \times 0.01694^2}{2 \cdot 4}$$

$$a_t = 0.0634 \text{ m}^2$$

- Vitesse massique :

$$G_t = \frac{\dot{m}_c}{a_t}$$

$$G_t = \frac{21.75}{0.0634}$$

$$G_t = 343.18 \text{ Kg /m}^2 \cdot \text{s}$$

- Nombre de Reynolds Re_t :

$$Re_t = \frac{d_{int} G_t}{\mu}$$

$$Re_t = \frac{0.01694 \times 343.18}{0.094 \times 10^{-3}}$$

$$Re_t = 61845 > 2100 \text{ Régime turbulent}$$

D'après le tableau (annexe 3), le coefficient de COLBURN $j_h = 180$

$$\frac{h_i}{\phi_t} = j_h \frac{\lambda}{d_{int}} \left(\frac{C_{pc} \mu}{\lambda} \right)^{1/3}$$

$$\frac{h_i}{\phi_t} = 180 \times \frac{0.1120}{0.01694} \times \left(\frac{3222.19 \times 0.094 \times 10^{-3}}{0.1120} \right)^{1/3}$$

$$\frac{h_i}{\phi_t} = 1658 \text{ J/m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\frac{h_{i0}}{\phi_t} = \left(\frac{h_i}{\phi_t} \right) \left(\frac{d_{int}}{d_{ext}} \right)$$

$$\frac{h_{i0}}{\phi_t} = 1658 \left(\frac{0.01694}{0.01905} \right)$$

$$\frac{h_{i0}}{\phi_t} = 1474 \text{ J/m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$$

➤ **Coté calandre :**

- Section par calandre :

$$a_{CT} = \frac{D_C}{P} (p - d_{ext}) B$$

$$a_{CT} = \frac{0.762}{0.0254} (0.0254 - 0.01905) 0.151$$

$$a_{CT} = 0.0287 \text{ m}^2$$

- Vitesse massique :

$$G_{CT} = \frac{\dot{m}_f}{a_{CT}}$$

$$G_{CT} = \frac{17.24}{0.0287}$$

$$G_{CT} = 600.7 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$$

- Diamètre équivalent :

$$D_e = \frac{4p^2}{\pi d_{ext}} - d_{ext}$$

$$D_e = \frac{4 \times 0.0254^2}{\pi \times 0.01905} - 0.01905$$

$$D_e = 0.02409 \text{ m}$$

- Nombre de Reynolds Re_{CT} :

$$Re_{CT} = \frac{D_e G_{CT}}{\mu'}$$

$$Re_{CT} = \frac{0.02409 \times 600.7}{0.158 \times 10^{-3}}$$

$$Re_{CT} = 91588 > 2100 \text{ Régime turbulent}$$

D'après le tableau (annexe4), le coefficient de COLBURN $j_h = 230$

$$\frac{h_o}{\phi_t} = j_h' \frac{\lambda'}{D_e} \left(\frac{C_p \mu'}{\lambda'} \right)^{1/3}$$

$$\frac{h_o}{\phi_t} = 230 \times \frac{0.094}{0.02409} \left(\frac{2547.6 \times 0.158 \times 10^{-3}}{0.094} \right)^{1/3}$$

$$\frac{h_o}{\phi_c} = 1457.3 \text{ J/m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$$

Avec ϕ_t : facteur de correction

$$\phi_t = \left(\frac{\mu}{\mu_t'} \right)^{0.14} = \left(\frac{0.094}{0.094} \right)^{0.14} = 1$$

$$\phi_c = \left(\frac{\mu_c}{\mu_c'} \right)^{0.14} = \left(\frac{0.156}{0.158} \right)^{0.14} = 0.9$$

- Calcul du coefficient de film interne rapporté à la surface extérieure :

$$h_{io} = 1474 \text{ J/m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$$

- Calcul du coefficient de film externe :

$$h_o = 1619.2 \text{ J/m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$$

- Coefficient de transfert propre :

$$U_p = \frac{h_o h_{io}}{h_o + h_{io}}$$

$$U_p = \frac{1619.2 \times 1474}{1619.2 + 1474}$$

$$U_p = 771.8 \text{ J/m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$$

10. Vérification de la résistance d'encrassement :

$$R_s = \frac{U_p - U_s}{U_p U_s}$$

$$R_s = \frac{732.8 - 286.3}{732.8 \times 286.3}$$

$$R_s = 0.00219 (\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}) / \text{J}$$

V.5. Calcul hydraulique:**V.5.1. Perte de charge cotée faisceau :**

$$\Delta P_t = \frac{n_c n_t G_t^2}{1.271 \times 10^{15} d} \left(\frac{f_t L + 2}{d_{int} \phi_t} \right)$$

Avec :

d : La densité

f_t : Facteur de friction

Les tubes de l'échangeur sont des tubes lisses donc :

$$f_t = 0.002800 + 0.250 \text{Re}^{-0.32}$$

$$f_t = 0.00280 + 0.25(61845)^{-0.33}$$

$$f_t = 0.01012$$

Donc :

$$\Delta P_t = \frac{2 \times 1 \times (343.18)^2}{1.271 \times 10^{15} \times 0.5208 \times} \left[\frac{0.01012 \times 6.096}{0.01694 \times 1} + 2 \right]$$

$$\Delta P_t = 1.05 \times 10^{-4} \text{ bar}$$

V.5.2. Perte de charge cotée calandre :

$$\Delta P_c = \frac{n_c G_{Ct}^2 (N_c + 1) D_c}{1.271 \times 10^{15} d' D_c \phi_c}$$

$$\Delta P_c = \frac{2 \times 600.7^2 \times (33 + 1) \times 0.762}{1.271 \times 10^{15} \times 0.6062 \times 0.762 \times 0.99}$$

$$\Delta P_c = 0.32 \times 10^{-4} \text{ bar}$$

V.4. Tableau récapitulatif des résultats :

Tableau V.4 : Les résultats du calcul et de la fiche technique.

Caractéristique	Données de la fiche technique	Calcul	Unités
Chaleur échangée	5.719×10^6	5.713×10^6	W
Surface d'échange	180	178	m ²
DTLM	99	99	°C
Nombre des tubes	493	489	/
Coefficient de transfert propre	762.4	771.8	W/m ² °C

Perte de charge cotée tube	7.19×10^{-4}	1.05×10^{-4}	Bar
Perte de charge cotée calandre	0.074	0.32×10^{-4}	Bar

Conclusion :

Les calculs de vérification thermique nous ont permis d'évaluer la surface d'échange et le coefficient global de transfert, ainsi que les pertes de charge.

Les résultats obtenus sont positifs étant donné que la surface est très proche de la surface réelle de l'échangeur, et les pertes de charge sont négligeables dans les deux côtés de l'échangeur.

Bibliographie :

- [1] A.S.ARBAOUI, «Calcul de vérification thermique, mécanique et maintenance de l'échangeur E07», Projet de fin d'étude en vue de l'obtention de la confirmation du recrutement à SONATRACH
- [2] B. Cherif, «Calcul et technologie des échangeurs de chaleur », office des publications universitaires 2012.
- [3] A.BONTEMPS, A.GARRIGUE, C. GOUBIER, J.HEUTZ, C.MARVILLET, P.MERCIER, R.VIDIL, «Description des échangeurs», techniques de l'ingénieur (B 2341).
- [4] R.BOUCHNAFA, A.BENSEDDIK, «Calcul de vérification d'un échangeur de chaleur E102 », mémoire fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master, département de génie mécanique, université de Tlemcen 2010-2011.
- [5] M.TERBECHÉ-M.SEBIANE, «Calcul de vérification d'un condenseur à surface codé par CS40/50-242.00 », mémoire fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master, département de génie mécanique, université de Tlemcen 2006-2007.
- [6] A. MENIDJEL, «Exploitation des échangeurs a faisceau et calandre», IAP/SPA SKIKDA(2009).
- [7] L. KHADIR, «Calcul et dimensionnement d'un condenseur a faisceau et calandre », Mémoire fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master, département de génie mécanique, université de Tlemcen, 2006/2007.
- [8] T.KUPPAN, « Heat exchanger design handbook», Marcel Dekker, Inc., 2000.
- [9] P.WUITHIER, «Le Pétrole, Raffinage et génie chimique Tome II», édition : TECHNIP (1972).
- [10] F.M.OUDINA, «Echangeur de chaleur (cours et exercices corrigées)», université 20 aout 1955 SKIKDA -2014.

[11] M.MANAA, «Optimisation énergétique des échangeurs tubulaires », mémoire fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master, département de génie mécanique, université de Tlemcen 2016.

[12] A.BOUDJELA, Z.SENOUCI, Séminaire sur les échangeurs de chaleur, centre inter entreprise de formation industrielle, AIN EL TURK. ACH, 2014-2015.

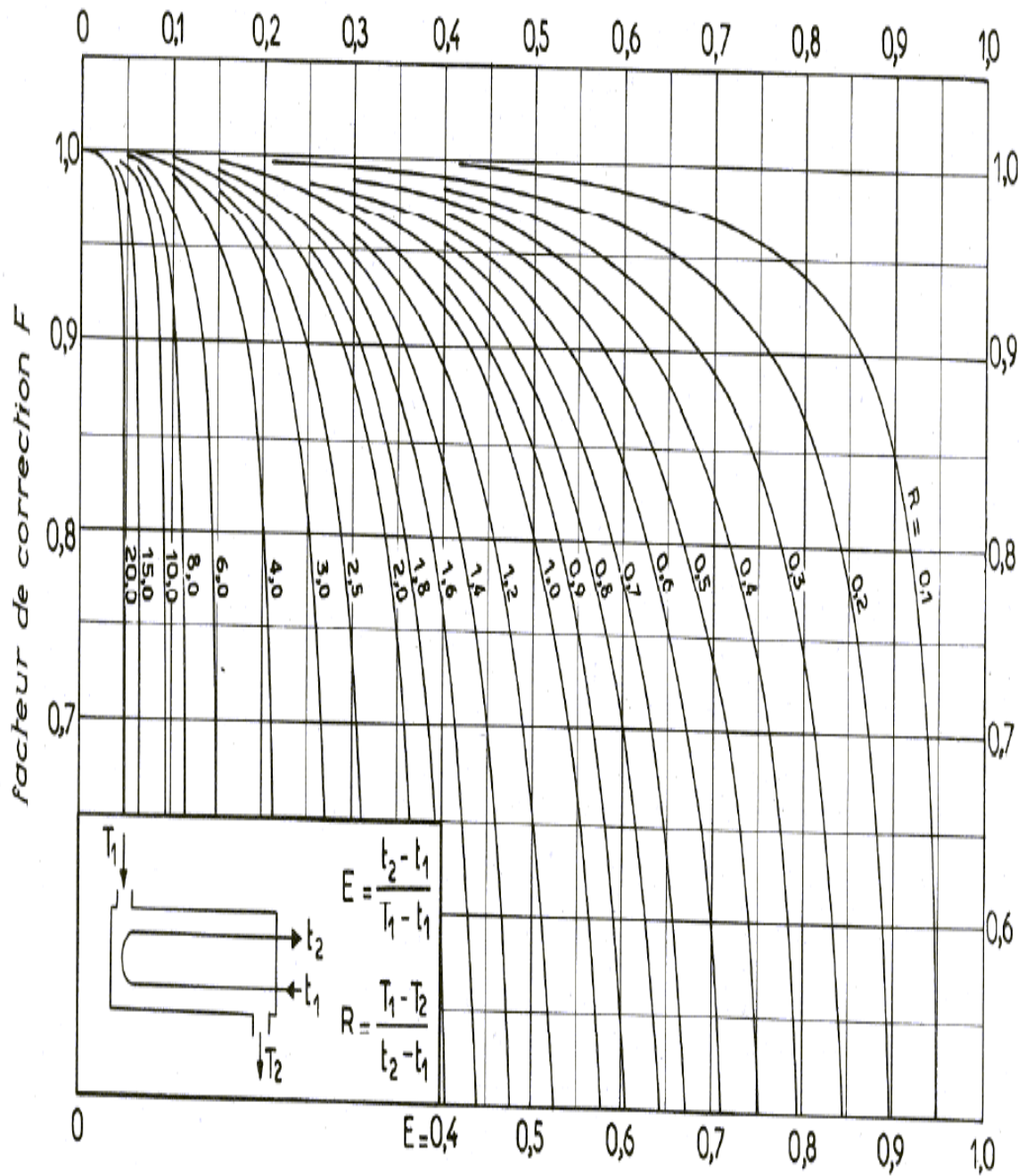
[13] K.BAADACHE et C.BOUGRIOU, «Etude numérique d'un échangeur de chaleur à triple tubes concentriques en régime permanent », Revue des énergies renouvelables CER'07 Oujda(2007) 193-196.

[14] <https://www.google.dz/search.condenseur> consulté le 25 Avril 2017.

[15] <https://www.google.dz/search.evaporateur> consulté le 25 Avril 2017.

[16] RHOURE NOUSS, «traitement de gaz », description de procès, Italie 1986.

Annexe



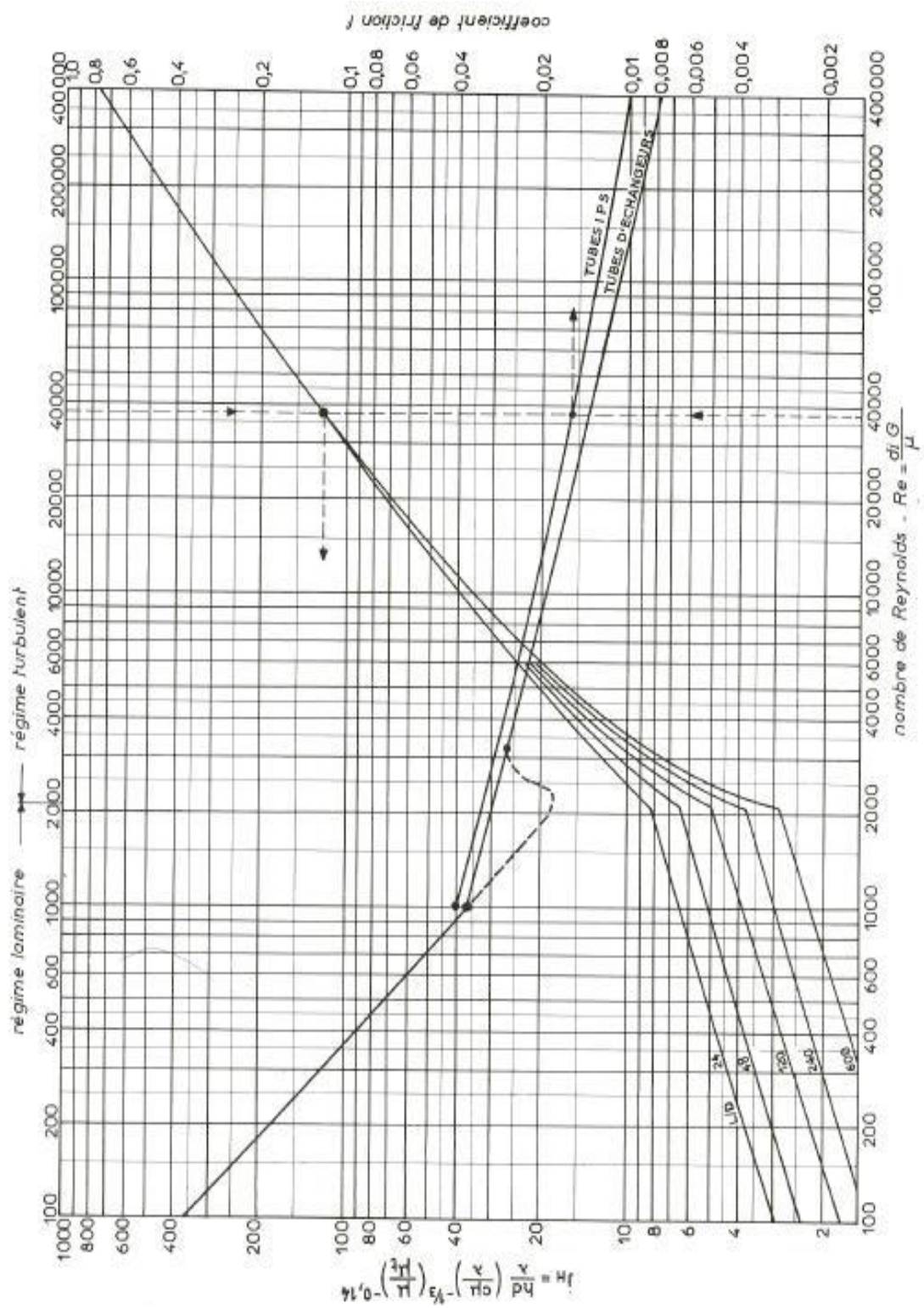
a. une passe côté calandre, deux passes (ou plus) côté tubes.

Annexe 1 : facteur de correction F

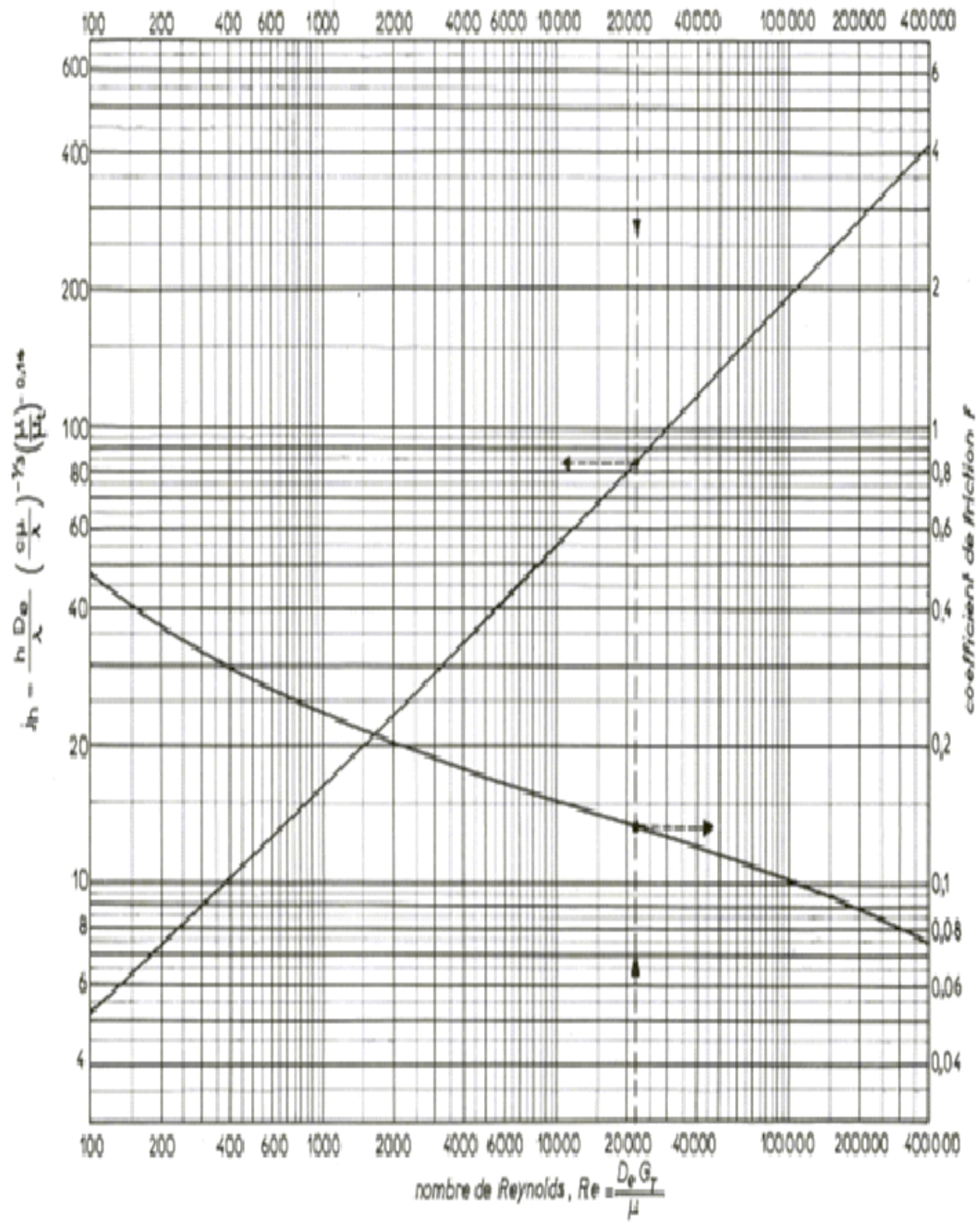
TABLEAU V.1.B
COEFFICIENTS DE TRANSFERT SALE $U_s^{(1)}$

ÉCHANGEURS		U_s	
FLUIDE CHAUD	FLUIDE FROID	kcal/h.m ² .°C	BTU/hr. ft ² .°F
Eau	Eau	1 250 - 2 500	250 - 500
Solutions aqueuses	Solutions aqueuses	1 250 - 2 500	250 - 500
Hydrocarbures légers ⁽²⁾	Hydrocarbures légers	200 - 370	40 - 75
Hydrocarbures moyens ⁽²⁾	Hydrocarbures moyens	100 - 300	20 - 60
Hydrocarbures lourds ⁽²⁾	Hydrocarbures lourds	50 - 200	10 - 40
Hydrocarbures lourds	Hydrocarbures légers	150 - 300	30 - 60
Hydrocarbures légers	Hydrocarbures lourds	50 - 200	10 - 40
RÉFRIGÉRANTS			
Eau, méthanol, ammoniac et solutions aqueuses	Eau	1 250 - 2 500	250 - 500
Hydrocarbures légers	Eau	370 - 730	75 - 150
Hydrocarbures moyens	Eau	250 - 610	50 - 125
Hydrocarbures lourds	Eau	25 - 730	5 - 75
Gaz	Eau	10 - 250	2 - 50
Eau	Saumure	500 - 1 000	100 - 200
Hydrocarbures légers	Saumure	200 - 500	40 - 100
RÉCHAUFFEURS			
Vapeur d'eau	Eau, méthanol, ammoniac	1 000 - 3 400	200 - 700
Vapeur d'eau	Solutions aqueuses : $\mu < 2$ cPo ...	1 000 - 3 400	200 - 700
	$\mu > 2$ cPo ...	500 - 2 500	100 - 500
Vapeur d'eau	Hydrocarbures légers	500 - 1 000	100 - 200
Vapeur d'eau	Hydrocarbures moyens	250 - 500	50 - 100
Vapeur d'eau	Hydrocarbures lourds	30 - 300	6 - 60
Vapeur d'eau	Gaz	25 - 250	5 - 50
Dewtherm	Gaz	20 - 200	4 - 40
Dewtherm	Hydrocarbures lourds	30 - 300	6 - 60

Annexe 2 : Détermination du Coefficient de transfert global (U_s').



Annexe 3 : Coefficient de transfert et coefficient de friction en fonction du nombre de Reynolds à l'intérieur des tubes.



Annexe 4 : Coefficient de transfert et coefficient de friction en fonction du nombre de Reynolds l'extérieur des tubes.

SONATRACH
DIRECTION PRODUCTION
PROJET ENJONDE-NOISS

30-E-05 PRECHAUFFEUR ALIM - DE LA STABIL.

	Calandre	Tube	
	HYDROCARBURES	CONDENSAT	
Fluides			
Press. Max. Service	25	22	Kg/cm ²
Press. Calcul	28	34	Kg/cm ²
Temp. Max. Service	523/166	250/168	°C
Temp. de Calcul	190	300	°C
Surépaisseur Corr.	3	3	mm
Press. Epreuve Hydro.	42	51	Kg/cm ²
Trait. Thermique	NON	OUI	
Radiographie	PART.	PART.	
Code de calcul utilisé	TEMA R - ASME VIII DIV. 1		
Volume m ³	2,31,02	Surface m ²	200
N° de fabric.	80457	Date - Essai	1985/04/04
Poids Vide/Falsséau	7940		4150 Kg
Pass	ANNÉE FAB. 1985		
Contr.	SNAM PROGETTI		
MEH	NUOVOPIGNONE - MASSA		

Annexe 5 : Fiche signalétique de l'échangeur E05.

DISPOSITION DES TUBES EN CARRÉ

D _c calandre		Tubes : 3/4" P = 1"				Tubes : 1" P = 1 1/4"				Tubes : 1 1/4" P = 1 9/16"			
		nombre de passes : n _t				nombre de passes : n _t				nombre de passes : n _t			
(in)	(cm)	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8
8	20,3	26	20	20		16	14						
10	25,4	52	40	36		32	26	24		12	10		
12	30,5	76	68	68	60	45	40	38	36	24	22	16	16
13 1/4	33,7	90	82	76	70	56	52	48	44	30	30	22	22
15 1/4	38,7	124	116	108	108	76	68	68	64	40	37	35	31
17 1/4	43,9	166	158	150	142	112	96	90	82	53	51	48	44
19 1/4	48,9	220	204	192	188	132	128	122	116	73	71	64	56
21 1/4	54,0	270	246	240	234	166	158	152	148	90	86	82	78
23 1/4	59,1	324	308	302	292	208	192	184	184	112	106	102	96
25	63,5	394	370	356	346	252	238	226	222	135	127	123	115
27	68,6	460	432	420	408	288	278	268	260	160	151	146	140
29	73,7	526	480	468	456	326	300	294	286	188	178	174	166
31	78,8	640	600	580	560	398	380	368	358	220	209	202	193
33	83,8	718	688	676	648	460	432	420	414	252	244	238	226
35	88,9	824	780	766	748	518	488	484	472	287	275	268	258
37	94,0	914	886	866	838	574	562	544	532	322	311	304	293
39	99,0	1024	982	968	948	644	624	612	600	362	348	342	336

Annexe 6 : disposition des tubes en carré

Introduction

Chapitre I

Description du

complexe gazier de

RHOURDE NOUSS

Chapitre II

Généralité sur les échangeurs de chaleur

Chapitre III

Problèmes de

fonctionnement des

échangeurs de chaleur

Chapitre IV

Description de

l'échangeur E05

Chapitre V

Calcul de

vérification de

l'échangeur E05

Conclusion