

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
FACULTE DES HYDROCARBURES , ENERGIES RENOUVELABLES ET SCIENCES DE
LA TERRE ET DE L'UNIVERS
DEPARTEMENT DE FORAGE ET DE MECANIQUE DES CHANTIERS PETROLIERS



Mémoire

Master professionnel en Mécanique des Chantiers Pétroliers

Présentés par : CHENINA Soumia

ABDELLI Mounia

Rapporteur : REZAIGUIA Issam

**CALCUL THERMIQUE ET MECANIQUE D'UN
ECHANGEUR DE CHALEUR
(PRECHAUFFEUR P30-GA-21-01 A/B)**

Soutenu le : 20/06/2018

Devant le jury composé de:

Président : Gharbi Abderrezak

Examineur : Mabrouk Reda

Encadreur : Rezaiguia Issam

Année universitaire 2017/2018



Remerciement

*Nous remercions, en premier lieu Dieu qui nous a donné la force et le pouvoir
pour effectuer ce travail.*

*Nos vifs remerciements à notre encadreur **Mr. Rezaiguia Issam** pour son aide
et
son encouragement.*

*Nous tenons tout particulièrement à remercier **Mr. Abdelli** notre tuteur de
stage, pour toutes les informations qu'il nous a apporté, pour les conseils
et son suivi, sa patience et son intérêt porté sur le travail que nous avons
réalisé. Ainsi qu'au les membres de **CIS** et **I'OTBS** pour avoir répondu
posément à plusieurs de nos questions.*

*Nous remercions toutes personnes qui nous ont aidés de près ou de
loin à la finalisation de ce Travail, nous tenons à leur exprimer
notre vive gratitude.*



DEDICACES

J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail :

*À mes très chers parents qui m'ont tout donné, leur
amour et leurs sacrifices éternels.*

*À mes chères sœurs : Amína, Dounía et la petite
Sadjída.*

À Mes chères amies Fatíma et Fatíma

À ma bínôme ma chère Mounía,

À tous mes collègues de promotion 2017-2018,

*À Et tous ceux qui m'ont encouragé durant ma
vie estudiantine.*

CHENINA SOUMIA



Dédicaces

J'ai le grand plaisir de

dédier ce modeste travail.

*Mes très chers parents et ma tante **Drifa** qui*

ont beaucoup sacrifié à mon bonheur,

*Mes très chers frères **Salem, Anes**, Mes*

*chères amies **Asma** et **Wicem***

*Et surtout à ma binôme ma chère **Soumia**,*

*Et tous ceux qui m'ont encouragé durant ma vie
estudiantine.*

MOUNIA

Figure	Titre de figure	Page
Figure I.1	Situation géographique du champ de Hassi-Messaoud	3
Figure I.2	Réseau collecte du brut non stabilisé des satellites vers UTBS.	4
Figure I.3	Situation géographique de l'UTBS.	5
Figure I.4	Plan général de L'UTBS.	7
Figure I.5	Traitement du brut	8
Figure I.6	Organigramme du train de l'UTBS	9
Figure I.7	Séparation d'Huile.	10
Figure I.8	Dessalage.	11
Figure I.9	Stabilisation.	12
Figure II.1	Classement des échangeurs selon le type de construction.	18
Figure II.2	Modes d'écoulements de deux fluides dans un échangeur.	19
Figure II.3	La compacité de la surface d'échangeur.	19
Figure II.4	Composants d'un échangeur à plaque tubulaire fixe .	21
Figure II.5	Composants d'un échangeur à tube en U.	21
Figure II.6	Composants d'un échangeur à faisceau et calandre à tête flottante.	22
Figure II.7	Exemples de combinaison d'échangeurs TEMA	23
Figure III.1	Préchauffeur P30-GA-21-01 A/B.	24
Figure III.2	Boite de distribution	25
Figure III.3	Calandre un seul passe.	25
Figure III.4	Les plaques signalétiques	26
Figure III.5	Schéma de Faisceau tubulaire.	26
Figure III.6	Faisceau tubulaire	27
Figure III.7	La plaque tubulaire	27
Figure III.8	Schéma de la plaque tubulaire de préchauffeur	28
Figure III.9	Chicanes transversales	28
Figure III.10	Tirants et Entretoises	29
Figure III.11	Défecteur	29
Figure III.12	La tête flottante	30
Figure III.13	Echangeur encrassé et propre.	32
Figure III.14	Outil de dudgeonnage des tubes.	34
Figure III.15	Extracteur faisceau.	35

Figure III.16	Quelques équipements utilisés dans le test hydrostatique.	36
Figure IV.1	Facteur de correction $F = f(R, E)$	43
Figure IV.2	Evolution de la résistance d'encrassement dans le temps (mois de février).	51
Figure IV.3	Evolution de coefficient d'échange dans le temps (mois de février)	51
Figure IV.4	Evolution de coefficient d'échange en fonction de la résistance d'encrassement	51
Figure IV.5	Evolution de la résistance d'encrassement dans le temps (mois d'Aout)	52
Figure IV.6	Evolution de coefficient d'échange dans le temps (mois d'Aout)	53
Figure IV.7	Evolution de coefficient d'échange en fonction de la résistance d'encrassement (mois d'Aout)	53
Figure IV.8	Evolution d'encrassement en fonction de la température coté tube (mois d'Aout)	54
Figure IV.9	L'évolution de la vitesse de circulation en fonction de temps après révision	55
Figure IV.10	L'évolution de la vitesse de circulation en fonction de temps avant révision	55

Tableau	Titre de tableau	Page
Tableau I.1	Les propriétés des produits produisent au CINA	4
Tableau I.2	Les deux cas de dimensionnement des équipements sur l'UTBS (été, hiver).	6
Tableau III.1	Description de préchauffeur.	30
Tableau III.2	Caractéristiques thermiques de préchauffeur P30-GA-21-01 A/B.	31
Tableau IV.1	Caractéristiques design préchauffeurs (A et B) de chaleur et des fluides.	39
Tableau IV.2	Caractéristique de l'échangeur.	40
Tableau IV.3	Propriétés physique des fluides circulants dans l'échangeur.	42
Tableau IV.4	Calcul des caractéristiques hydraulique de l'échangeur.	43
Tableau IV.5	Comparaison entre la marche actuelle et la marche de design.	49
Tableau IV.6	Résultats du monitoring pour le Mois de février.	50
Tableau IV.7	Résultats du monitoring pour le Mois d'aout	52

Nomenclature

- A : Surface d'échange [m^2].
- e : Epaisseur [m]
- a : Surface d'échange du tube [m^2]
- a_{ct}: La section de la calandre [m^2].
- a_t: La section par passe [m^2].
- L : La longueur du tube. [m]
- D_C: Diamètre de la calandre [m].
- D_e: Diamètre équivalent [m].
- d_i: Diamètre intérieur [m].
- d_e: Diamètre extérieur [m].
- V : vitesse de circulation de fluide [m/s].
- G_B : vitesse massique côté tubes [kg/h.m²]
- G_{ct} : vitesse massique côté calandre kg/h.m²]
- DTLM : Différence de température logarithmique moyenne [°C]
- F : Facteur de correction.
- N_t: Nombre de tube.
- P : Le pas. [m]
- U_s = coefficient transfert sale [w /m² k].
- U_p= coefficient de transfert propre [w /m² k]
- Q: Quantité de chaleur. [Kcal/kg]
- Re : Reynolds.
- R_s: résistance d'encrassement [m² k /w].
- T₁ : Température d'entrée côté calandre [°C]
- T₂: Température de sortie côté calandre [°C]
- t₁ : Température d'entrée côté tube [°C]
- t₂ : Température de sortie côté tube [°C]
- ΔPt : Perte de charge côté tube [bar]
- ΔP_c : Perte de charge côté calandre [bar]
- B : espace entre chicane [m]

Symbols grecs :

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

Indices

e : Entrée

s : Sortie

Abréviation

SONATRACH : Société national de transport et commercialisation des hydrocarbures .

CINA : Centre industriel nord (Naili Abd Elhalim).

CIS : Centre industriel sud.

UTBS : Unité de traitement brut sud.

CIS : Complexe industriel sud.

HP : Haute pression.

BP : Basse pression.

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

SOMMAIRE :

INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre I : Présentation de lieu de stage	
I.1) Présentation du champ Hassi Messaoud.....	3
I.2) Différents centres de champ de -Hassi Messaoud- :.....	3
I.2.1) Présentation Du CINA.....	3
I.2.2) Présentation du Centre industriel Sud (CIS) :.....	4
I.2.3)Présentation de l'UTBS	5
○ Présentationde l'unité de traitement	5
○ Description d'une unité de traitement	7
○ Description du process	9
○ Système de contrôle et sécurité de procédé	12
Chapitre II : Généralités sur le transfert et les échangeurs de chaleur	
II.1) Généralités sur le transfert de chaleur.....	14
II.1.1) Définitions	14
II.1.2) Phénomène de conduction thermique	14
II.1.3) Phénomène de convection thermique	15
II.1.4) Phénomène de rayonnement.....	16
II.2) Technologie sur les échangeurs de chaleur.....	17
Introduction	17
II.2.1) Classification des Echangeurs de Chaleur :.....	18
○ Type de conception	18
○ Procédé de transfert	19
○ Ecoulement des fluides	19
○ Degré de compacité	19
Conclusion	20
II.2.2) Echangeurs tubulaires :.....	20
○ Echangeur monobloc.....	20
○ Echangeur à tubes en U	21
○ Echangeur à tete flottante	21
II.2.3) Recommandations du TEMA :.....	22
Chapitre III : Technologie de préchauffeur P30-GA-21-01 A/B	
Introduction	24
III.1)Les éléments essentiels constituant l'échangeur :.....	24
○ Extérieurement	24
○ Intérieurement	26
III.2) Description de Préchauffeur P30-GA-21-01 A/B	30

III.3) Le rôle de préchauffeur	31
III.4) Problèmes de fonctionnement des échangeurs	32
III.4.1) Encrassement :	32
III.4.2) Types d'encrassement	32
III.4.3) Impact d'encrassement sur le dimensionnement des échangeurs.....	33
III.5) Maintenance de l'échangeur :	33
○ Maintenance préventive	33
○ Maintenance curative	34
III.5.1) Présentation de la révision décennale.....	34
III.5.2) Suivi de la révision du préchauffeur :	34
a. Opération de démontage	34
b. Opération de nettoyage	35
c. Inspection	35
d. Test hydrostatique	35
III.5.3) Observations	36
Conclusion.....	37

Chapitre IV : Calcul thermique (Préchauffeur P30-GA-21-01 A/B)

Introduction	38
IV.1) But de calcul.....	38
IV.2) Hypothèses simplificatrices	38
IV.3) Données et caractéristiques des échangeurs.....	39
IV.4) Exemple de calcul :	40
○ Evaluation des caractéristiques des fluides aux températures caloriques – Calcul des températures caloriques.....	41
○ Calcul de ΔTLM	42
○ Correction de ΔTLM	42
○ Calcul de coefficient de transfert propre.....	43
○ Le flux échangé.....	46
○ Calcul de la résistance d'encrassement.....	47
○ Calcul de coefficient de transfert sale.....	47
○ Calcul des pertes de charge.....	47
○ Calcul l'efficacité de préchauffeur.....	48
○ Comparaison entre la marche actuelle et la marche de design.....	49
IV.4) Résultats et interprétation.....	50
Conclusion.....	56
CONCLUSION GENERALE.....	57

Introduction

Introduction :

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 des 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.

Le souci technologique majeur des échangeurs de chaleur est l'amélioration de l'échange thermique entre les deux fluides tout en générant le moins de pertes de charges ou de leur réduire à leur plus bas niveau possible , dans notre cas la cause de cette réduction est l'encrassement qui est un phénomène prépondérant dans la réduction des performances de ces installations où son degré s'évalue par la mesure du coefficient global d'échange de transfert et aussi la résistance d'encrassement en fonction du temps.

La température de la charge sortie batterie préchauffeur coté tube train 30, alimentant la colonne de stabilisation cas design est de 114°C actuellement est de l'ordre de 100°C.

Cette contre performance est du essentiellement au phénomène de l'encrassement des préchauffeurs de la colonne (constat des révisions précédentes), le phénomène d'encrassement est caractérisé par un paramètre appelé la résistance d'encrassement.

Dans ce travail, nous présentons une étude numérique pour étudier le champ thermique de l'écoulement de brut stabilisé coté calandre et brut non stabilisé coté tube.

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

- Le premier chapitre est consacré à la zone d'étude, ou on a donné une description de la région Hassi-Messaoud en générale, et en particulier l'unité de traitement brut sud (UTBS).
- Le deuxième chapitre constitue une étude bibliographique assez générale mais non exhaustive sur le transfert de chaleur et les échangeurs de chaleur.
- Le troisième chapitre concerne la technologie de préchauffeur P30-GA-21-01 A/B (cas d'étude) dans l'unité de traitement de brut sud UTBS et une présentation du problème majeur (encrassement coté tube) influant sur la performance de cet échangeur aussi ces remèdes.
- Le quatrième chapitre concerne l'étude thermique de l'écoulement des fluides dans la calandre et les tubes ce chapitre sera terminé par une comparaison des performances cas design et cas actuel après révision.

Le travail se termine par une Conclusion générale.

Chapitre I :
Présentation du lieu de
stage

I.1) Présentation de la région de Hassi Messaoud :

Le champ de Hassi Messaoud est situé à 650 km sud- sud-est d'Alger et à 350 km de la frontière tunisienne. Les dimensions du champ atteignent 2500 km² avec une surface imprégnée d'huile d'environ 1600 km², C'est le plus grand gisement d'Algérie qui s'étend sur 53x44 km de superficie. Le champ de Hassi Messaoud demeure traditionnellement divisé en Hassi Messaoud Nord et Hassi Messaoud Sud.

Actuellement, le champ est subdivisé en 25 zones productives. Ces zones sont relativement indépendantes et correspondent à un ensemble de puits qui communiquent entre eux lithologiquement et se comportent de la même manière de point de vue pression.

Le champ de Hassi Messaoud est divisé d'Est en Ouest en deux parties distinctes : Nord et sud, chacun a sa propre numérotation.



Figure I.1 : Situation géographique du champ de Hassi-Messaoud [1]

I.2) Différents centres de champ de -Hassi Messaoud- :

-La partie Nord est composée d'un centre industriel appelé CINA, Z CINA et les champs satellites.

-La partie Sud est composée d'un centre industriel appelé CIS, l'UTBS et les champs satellites.

I.2.1) Présentation Du CINA

L'unité a pour mission principale d'augmenter la production de brut stable quantitativement et Qualitativement et d'avoir des produits conformes aux normes contractuelles qui sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau I.1 : les propriétés des produits produisent au CINA [1].

GRANDEURS	VALEUR
Densité	0,7949 <D>0,8082
TVR (tension de vapeur Read)	< 0,75bars
SALINITE	< 40mg/ l
BSW (teneur en eau et en sédiments)	< 0,5 %

L'unité de traitement Nord traite la totalité du liquide en provenance des deux satellites (OMP 53, OMN 77), des puits et des séparateurs sur champ, qui se rejoignent dans le manifold qui les fait diriger vers les unités de traitement réalisé en quatre étages.

I.2.2) Présentation du Centre industriel Sud (CIS) :

Des puits producteurs alimentent les plateformes satellites existantes (E2A, E1C, S1A, W1A, W2A, W1C) où une première séparation huile/gaz/eau est réalisée.

Au niveau de chaque plateforme satellite, le brut non stabilisé est pompé du séparateur triphasique vers les installations existantes du CIS (Complexe Industriel Sud) ou vers la nouvelle unité UTBS via le nouveau réseau de collecte.

Un ensemble de connexions ("tie-ins") est réalisé afin de relier les plateformes satellites existantes au nouveau réseau de collecte.[1]

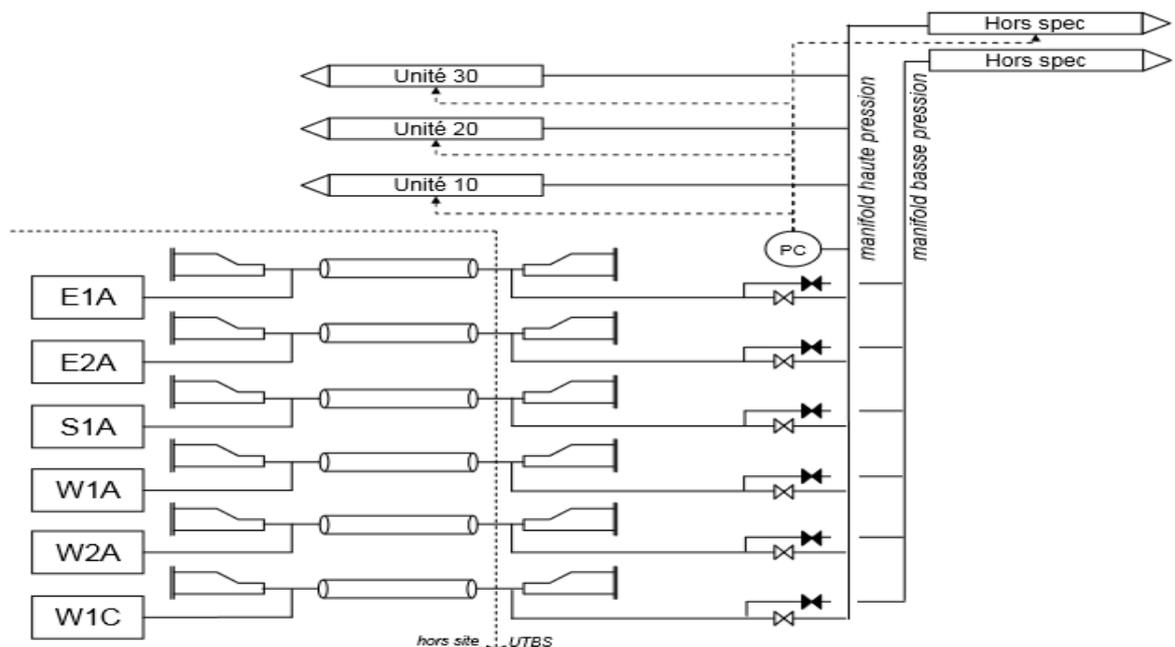


Figure I.2 : réseau collecte du brut non stabilisé des satellites vers UTBS [1].

I.2.3) Présentation de l'UTBS :

○ **Présentation de l'unité de traitement :**

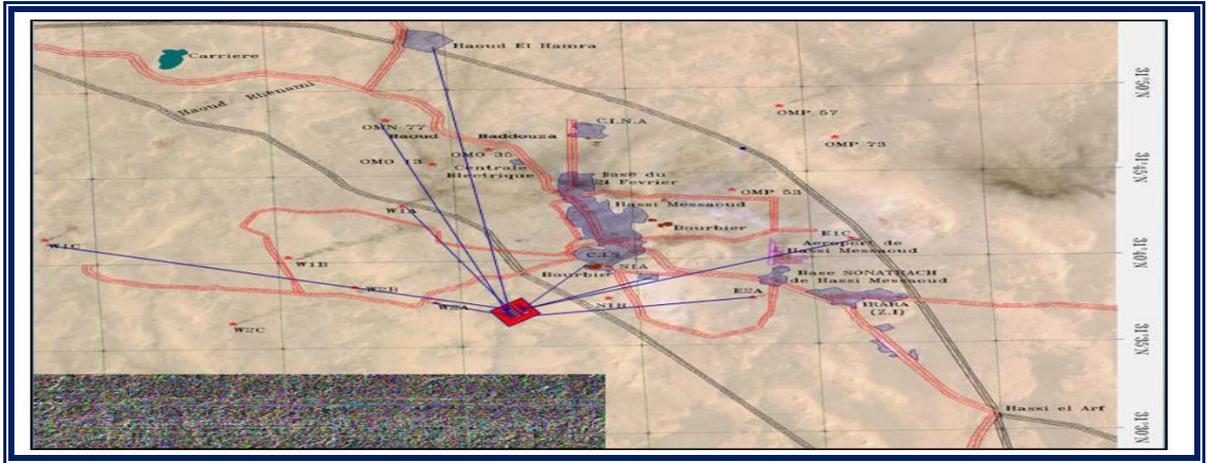


Figure I.3 : Situation géographique de l'UTBS [1].

Sonatrach a décidé de réaliser une nouvelle unité de traitement de brut sur le champ de Hassi Messaoud Sud, dénommée UTBS (Unité de Traitement de Brut Sud).

L'UTBS est une unité de traitement de brut destinée à recevoir et traiter l'huile non stabilisée provenant de six champs satellites existants de la région d'Hassi-Messaoud Sud et d'expédier l'huile stabilisée vers le centre de stockage situé à Haoud El Hamra via le pipeline 24'' CIS-HEH. Le site est situé au Sud Ouest du Centre Industriel Sud existant (CIS) à 7 Km environ.

Le traitement consiste à dessaler et à stabiliser le brut provenant des satellites. Le gaz associé est utilisé comme gaz combustible, l'excédant étant envoyé vers l'unité de GPL située au CIS. L'eau nécessaire au lavage du brut provient de deux puits d'eau d'Albien. Les eaux huileuses traitées sont envoyées vers l'unité d'injection d'eau située à OMN77 ou, en secours, vers le bassin d'évaporation.

L'UTBS comprend les unités suivantes :

- un réseau de collecte de brut (6 pipelines) pour acheminer l'huile non stabilisée des satellites existants vers la nouvelle installation
- trois unités de traitement de brut afin de dessaler et stabiliser le brut provenant de ces satellites
- une unité de compression comportant 4 trains
- une unité de traitement d'huile hors-spec et un bac de stockage d'huile hors-spec
- quatre bacs de stockage d'huile stabilisée

Chapitre I : Présentation de lieu de stage

- une pomperie d'expédition de l'huile stabilisée
- un système de comptage d'huile stabilisée
- une unité de traitement des eaux huileuses
- des pipelines d'expédition (huile stabilisée, gaz associé, eau traitée)
- les systèmes utilités nécessaires aux unités de procédés.

L'UTBS est conçu pour produire jusqu'à 300 000 barils de brut stabilisé par jour (=47700 m³/j).

Les caractéristiques de l'huile stabilisée à UTBS sont les suivantes :

- **Tension de vapeur Reid (TVR)** : Inférieure ou égale à 10 psi en hiver et inférieure ou égale à 7 psi dans le cas été.
- **Teneur en eau et sédiments (BSW)** : Inférieure ou égale à 0.1% vol
- **Salinité** : Inférieure ou égale à 40 mg/L

Le brut stabilisé peut être stocké dans 4 bacs à toit flottant d'une capacité de 50 000 m³ chacun

Deux cas ont été considérés pour le dimensionnement des équipements sur UTBS, un cas été et un cas hiver [1].

Tableau I.2 : les deux cas de dimensionnement des équipements sur l'UTBS (été, hiver) [1].

	Cas été	Cas hiver
Température à l'entrée d'UTBS	50C	10C
TVR(2) huile stabilisée spécifiée dans les bases de design (à 37.8C)	7.5 psi	10 psi
TVR huile stabilisée fournie par UTBS	7 psi	10 psi
Température ambiante maximum	50°C	25°C
Température huile stabilisée vers stockage	60°C	40°C
Température gaz en sortie d'UTBS vers expédition	70°C	55°C

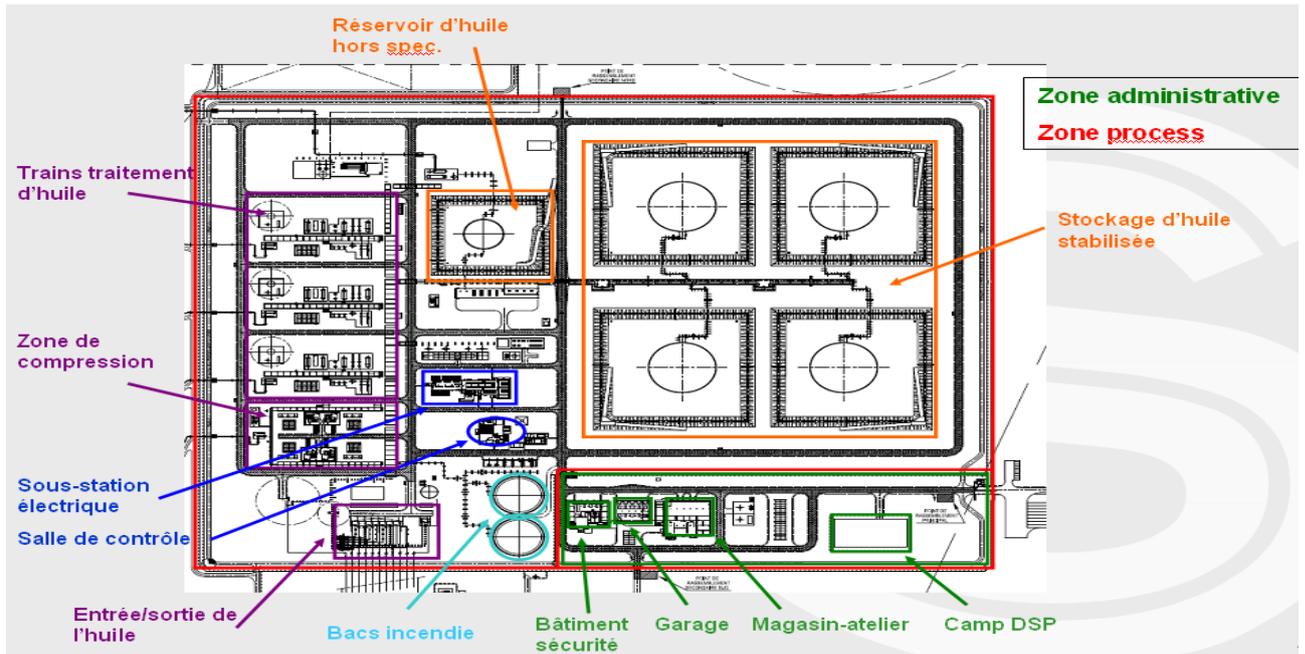


Figure I.4: plan général de L'UTBS [1].

○ Description d'une unité de traitement :

Chaque unité de traitement d'huile comprend :

- Séparateur triphasique (PX0-VA-20-01)
- Séparateur biphasique (PX0-VA-20-02)
- Réchauffeur d'huile (2 calandres PX0-GA-20-01 A/B)
- Package de dessalage (PX0-UZ-21-01)
- Colonne de stabilisation (PX0-CB-21-01)
- Pompes de recirculation du rebouilleur (PX0-PA-21-01 A/B/C)
- Rebouilleur (PX0-FA-21-01)
- Réfrigérants d'huile stabilisée (3 baies comprenant 2 faisceaux PX0-GC-21-01 A1/A2/B1/B2/C1/C2/D1/D2) [1].

Cette description est commune aux unités de traitement d'huile #10, #20 et #30. Les numéros d'équipements sont indiqués avec un X qui doit être remplacé par 1 pour l'unité #10, 2 pour l'unité #20 et 3 pour l'unité #30.

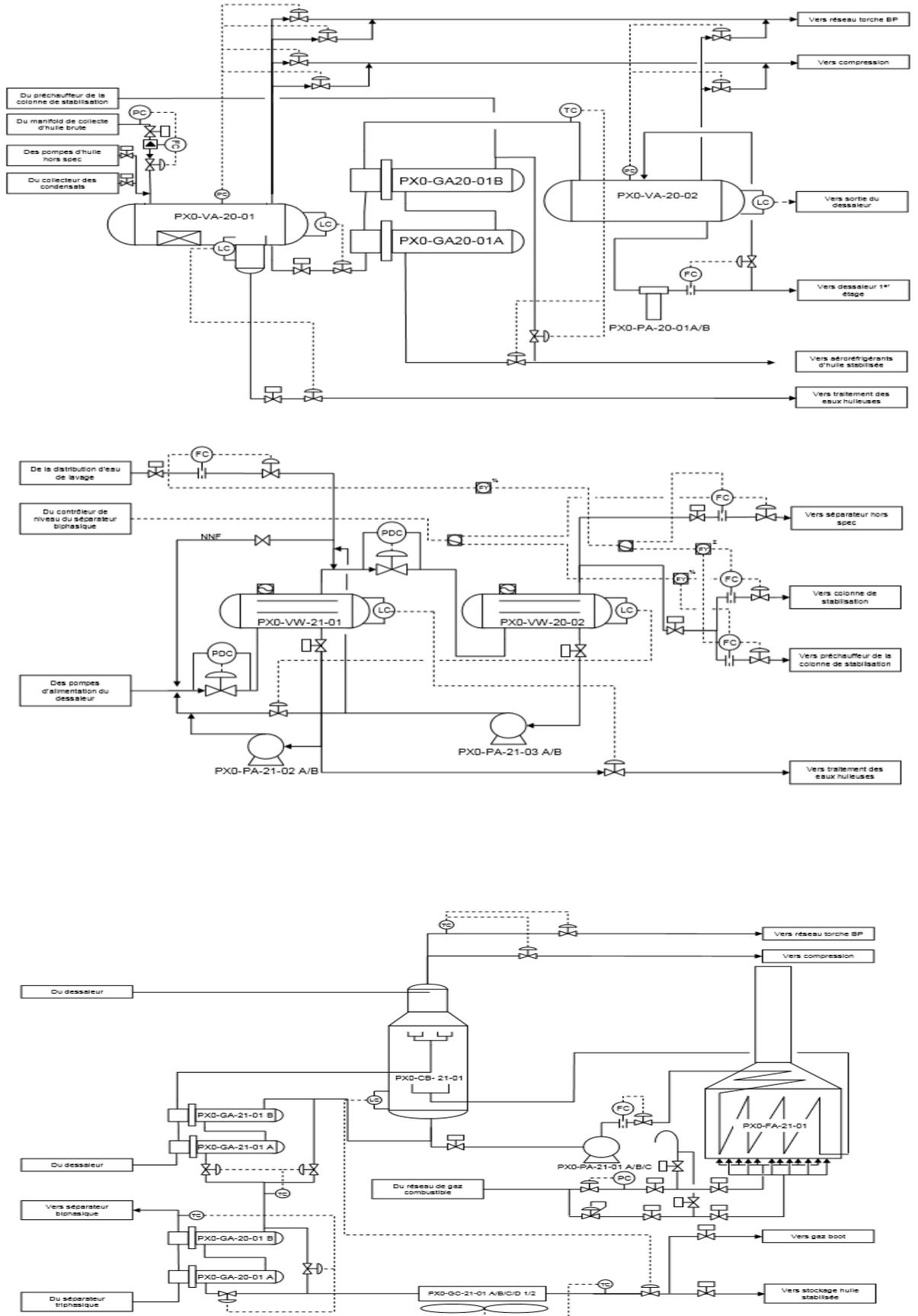


Figure I.5 : Traitement du brut [1].

○ Description du process :

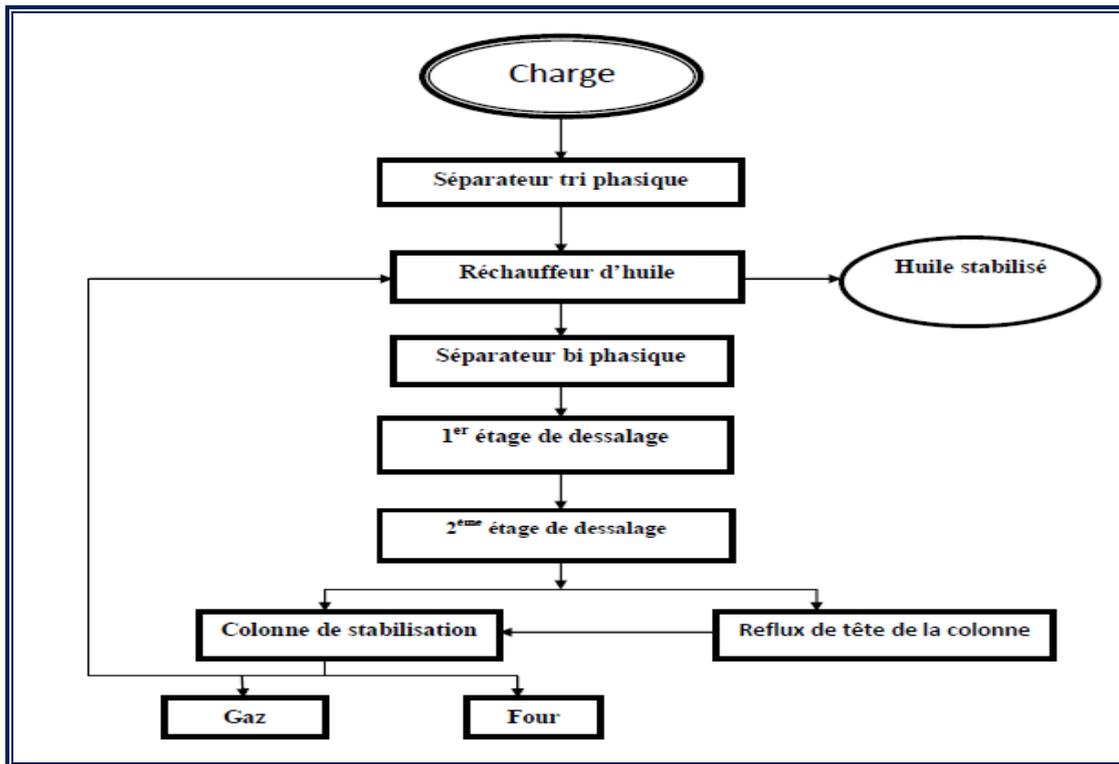


Figure I.6: organigramme du train de l'UTBS [1].

➤ Section de séparation :

Le séparateur triphasique constitue le premier étage de séparation. Il reçoit l'huile provenant directement des satellites, ainsi que les condensats récupérés dans les séparateurs inter-étage de la compression et l'huile recyclée provenant du système d'huile hors-spec.

Le gaz est envoyé par contrôle de pression vers l'unité de compression et l'excès de gaz étant envoyé vers la torche basse pression de l'unité.

L'huile, grâce à un contrôleur de niveau, est envoyée vers le réchauffeur d'huile et l'eau provenant du procédé, est collectée dans un appendice puis envoyée vers l'unité de traitement des eaux huileuses.

L'huile provenant du séparateur triphasique passe par les tubes du réchauffeur (Échangeur) d'huile, pour être chauffée à 70°C qui est la température opératoire optimale du package de dessalage. L'échange thermique nécessaire est fourni par l'huile stabilisée chauffée à 120°C, provenant du fond de colonne, et passant côté calandre des échangeurs [1].

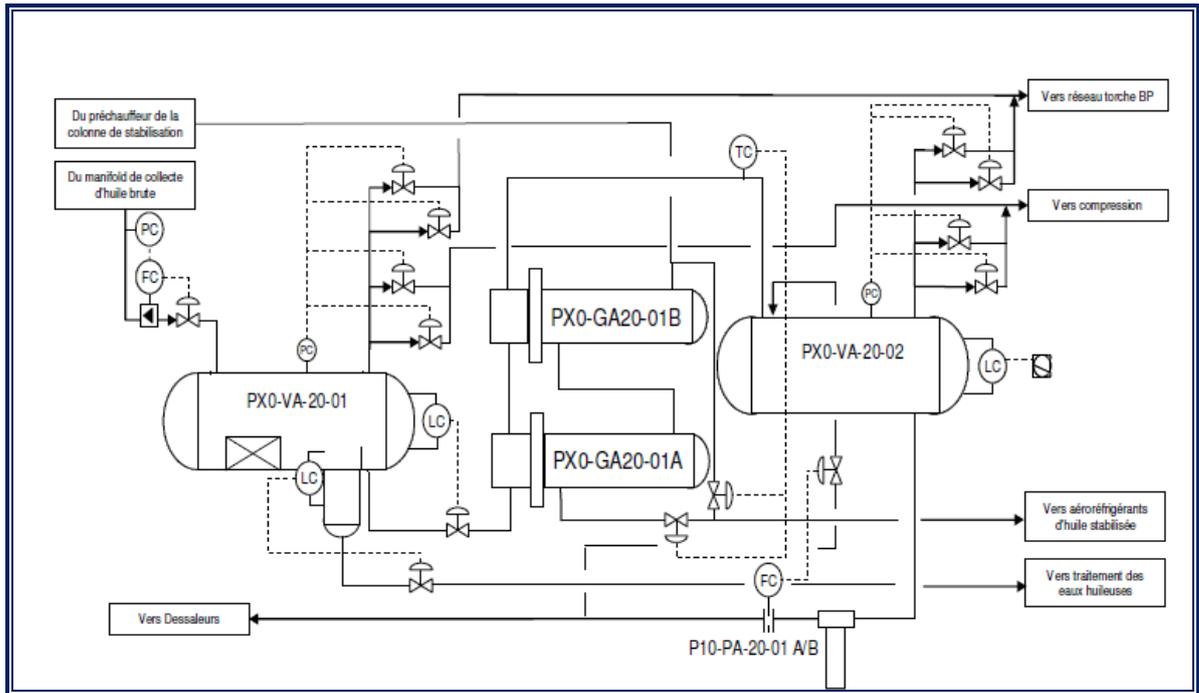


Figure I.7 : Séparation d'Huile [1].

L'huile chauffée à 70°C alimente le séparateur bi phasique qui constitue le deuxième étage de séparation.

Le gaz de flash issu de processus de séparation au niveau de tri phasique ,bi phasique et la colonne envoyé vers la compression a une pression de 05 bars, l'excès de gaz étant envoyé vers la torche basse pression de l'unité.

L'huile est pompée du séparateur bi phasique vers le package de dessalage par les pompes d'alimentation du dessaleur, centrifuges verticales [1].

➤ Section dessalage :

Le package de dessalage (PX0-UZ-21-01) permet de diminuer la teneur en BS&W en sortie du package à 0.1% volume et la concentration en sel à 20 mg/l équivalent Na Cl (données de design du dessaleur) afin de respecter les spécifications en eau et sel de l'huile stabilisée au niveau du stockage (concentration en sel inférieure à 40 mg/l et BS&W inférieure à 0.1% volume garanties en sortie d'UTBS) et de limiter l'encrassement de la colonne par dépôts de sel.

Le mélange brut - eau de gisement est émulsifié avec de l'eau de lavage recyclée des 1er et 2ème étages de dessalage. Une émulsion est ainsi créée, grâce à une vanne de mélange (21-PV-0X524) située en amont du premier étage de dessaleur (PX0-VW-21-01) et opérant à une pression de 12 Bar 70°C avec un temps de rétention de 5 minutes pour l'huile et de 18

minutes pour l'eau. Cette émulsion assure un bon mélange entre l'eau de gisement et l'eau de lavage, assurant ainsi une diminution de la concentration en sel de la phase aqueuse.

Le champ électrostatique est créé entre deux électrodes, une reliée à la masse et l'autre reliée à un transformateur HT installé en partie supérieure du dessaleur.

Le brut sortant du premier étage de dessalage est ensuite mélangé avec de l'eau de lavage constitué d'un mélange d'eau brute et d'eau de recirculation vers le deuxième étage de dessalage.

Une injection de dés émulsifiant est prévue sur chaque étage de dessalage, en amont de la vanne mélangeuse afin de faciliter la séparation eau / huile à chaque étage de dessalage.

Chaque étage de dessalage et chaque vanne de mélange dispose de sa propre ligne de by-pass. Des analyseurs en ligne de teneur en eau dans l'huile sont prévus à l'entrée du package de dessalage et à la sortie de chaque étage. Des points d'échantillonnage pour analyse au laboratoire sont également prévus [1].

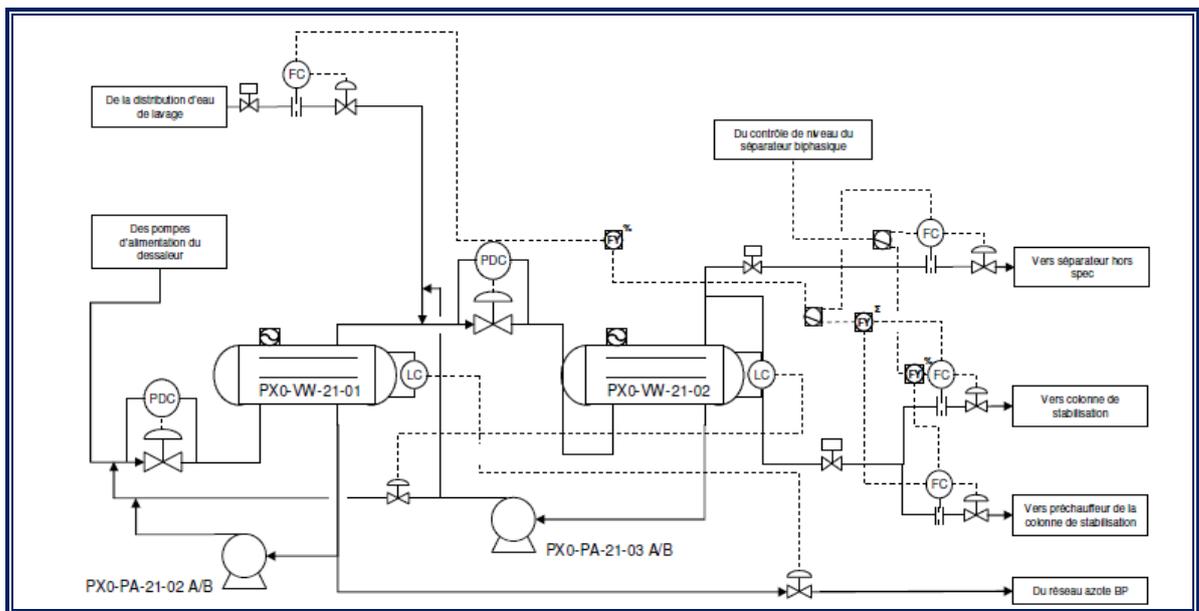


Figure I.8: Dessalage [1].

➤ Section stabilisation :

L'huile dessalée alimente la colonne de stabilisation:

- 20% du débit alimente directement la tête de la colonne (alimentation froide).
- 80% du débit alimente le préchauffeur de la colonne de stabilisation (alimentation chaude de la colonne).

La colonne de stabilisation opérant à 5 bars permet d'éliminer les composés les plus

légers du brut et d'atteindre en fond de colonne la TVR requise pour le stockage. Son principe de fonctionnement est la distillation qui consiste à mettre en contact à différentes températures un liquide et une vapeur.

Une partie de l'huile en fond de colonne alimente le rebouilleur grâce aux pompes de recirculation du rebouilleur. Le four apporte la chaleur nécessaire à la stabilisation.

L'huile stabilisée chaude (entre 135 °C dans le cas hiver et 160°C dans le cas été) sort de la colonne et passe côté calandre dans le préchauffeur de la colonne de stabilisation et le réchauffeur d'huile respectivement et cède ainsi de sa chaleur à l'huile non stabilisée.

Le refroidissement final avant stockage est assuré par les réfrigérants d'huile stabilisée. L'huile ainsi refroidie a une température d'environ 40 °C peut être envoyée vers les bacs de stockage d'huile stabilisée ou vers le bac de stockage d'huile sinon vers bac hors spec si ne répond pas aux spécifications requises [1].

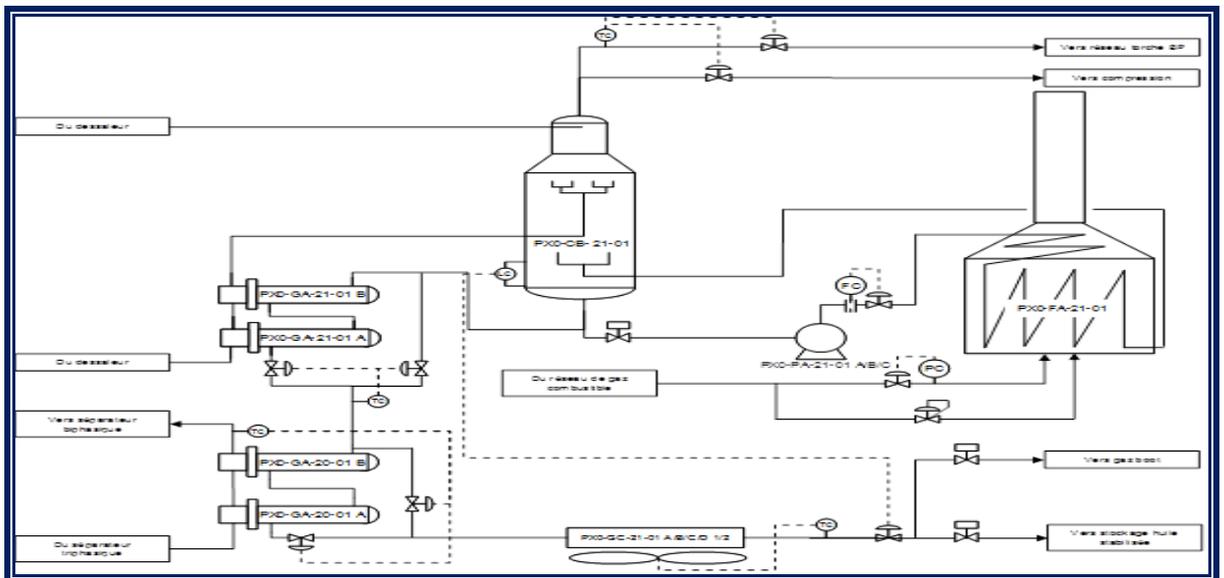


Figure I.9 : stabilisation [1].

○ Système de contrôle et sécurité de procédé :

Le système de contrôle du procédé comprendra :

i. Distributed control system:

Le DCS assure:

- Les interfaces opérateurs,
- La gestion des alarmes,
- L'historisation et l'émission des rapports,
- Les fonctions de régulation, d'automatisme et de conduite,
- L'interface avec les sous systèmes,

- L'interface avec les systèmes extérieurs [1].

ii. **Emergency shutdown ESD:**

Un automate de sécurité est installé l'UTBS, il permet en cas de détection de condition anormales potentiellement dangereuse d'effectuer de manière sûre et automatique, un arrêt d'urgence des installations, des équipements, des machines, et la pressurisation (avec l'action de l'opérateur), afin de :

- Protéger le personnel
- .Empêcher ou minimiser la pollution de l'environnement.
- Protéger les unités et les équipements.
- Empêcher ou minimiser la perte d'hydrocarbures.

iii. **Système de détection de feu et de gaz :**

Le système de détection Feu et Gaz a pour objectifs :

- La détection de feu et de gaz sur site, l'extérieur des locaux.
- Certaines actions de protection Feu et Gaz (mousse, poudre, eau brumisée, déluges, CO2...).
- La transmission au système **ESD**, par des liaisons câblées, d'ordres déclenchement de certaines actions procédé (mise en sûreté des unités).
- La transmission au Public Adresse / Général Alarme (PA/GA), par liaisons câblées, d'ordres d'activation d'alarmes sonores et lumineuses sur site (hauts parleurs et feux clignotants).[1]

Chapitre II :
Généralités sur les
transferts de chaleur
des échangeurs

II.1) Généralités sur le transfert de chaleur :

La connaissance des lois de la transmission de la chaleur est essentielle pour tous les ingénieurs et techniciens qui ont à connaître des problèmes thermiques : frigoristes, thermiciens, spécialistes en génie des procédés, etc. Lorsque deux corps, ou deux milieux, ne sont pas à la même température, ils ne sont pas en équilibre thermique. On peut alors observer un passage d'énergie calorifique de chaleur, du corps, ou du milieu, le plus chaud vers le corps, ou le milieu, le plus froid. On sait que le transfert de chaleur spontané est impossible d'un milieu froid vers un milieu chaud. [2]

Pour se transmettre, la chaleur fait appel à trois mécanismes fondamentaux :

- La conduction.
- La convection.
- Le rayonnement.

II.1.1) Définitions

❖ Quantité de chaleur (Q) :

C'est une quantité d'énergie calorifique mise en jeu (absorbée, produite ou transférée). On l'exprime dans le système international d'unités (SI), en joule (J) ou en calorie (1cal = 4.1855 J).

❖ Température (T) :

Elle exprime l'état thermique d'un milieu, état lié au niveau d'agitation thermique des molécules qui le constituent. On peut le repérer dans une échelle conventionnelle, comme l'échelle Celsius ($^{\circ}\text{C}$), ou bien on la mesure dans une échelle absolue définie en s'appuyant sur la loi de la thermodynamique, comme l'échelle Kelvin (K).

II.1.2) Phénomène de conduction thermique

➤ Définition :

Dans les corps solides dont la température est hétérogène, on observe à l'état Pur, des phénomènes de conduction thermique, propagation de la chaleur, de Proche en proche, des régions les plus chaudes vers les régions les plus froides sans déplacement apparent de matières. Les fluides sont également le siège de tels phénomènes. L'énergie se transmet donc, de molécule à molécule, grâce au couplage mécanique qui existe entre elle (corps solides), ou

Chapitre II : Généralités sur le transfert et les échangeurs de chaleur

par leurs chocs des unes contre les autres quand elles sont libres (gaz). Tout corps matériel solide, liquide ou gazeux peut donc conduire ou transporter de la chaleur.

➤ **Loi de Fourier**

D'après l'hypothèse fondamentale de Fourier qui régit le transfert de chaleur unidimensionnel par conduction.

La loi énoncée par Fourier s'écrit : $Q = - \lambda A (dt/dx)$ (II.1)

Où :

Q : Quantité de chaleur échangée [kw].

A : Surface d'échange de chaleur [m²].

dt/dx : Gradient de température le long de x.

λ: Coefficient de proportionnalité de la loi de Fourier (ou conductivité thermique) [kw/m.k].

Le signe (-) qui apparaît dans cette expression signifie que la chaleur se propage dans le sens des températures décroissantes.[2]

II.1.3) Phénomène de convection thermique :

➤ **Définition :**

La convection thermique intervient essentiellement lors des échanges thermiques entre une paroi solide et un fluide en contact avec la paroi.

Cette convection peut être naturelle lorsque les variations de la masse volumique du fluide, résultent des variations de sa température, comme elle peut être forcée si le mouvement du fluide est réalisé par un travail mécanique externe (ventilation, agitation, pompage).

Par suite des phénomènes convectifs naturels ou forcés, le fluide convecteur peut simplement s'échauffer ou se refroidir sans changer d'état physique, il s'agit alors de convection sans changement d'état. Mais il peut aussi, au contact de la paroi avec laquelle il échange de la chaleur, subir une modification dans son état physique, il s'agit alors de convection avec changement d'état (ébullition, condensation, etc.).

➤ **Loi de Newton :**

C'est la loi fondamentale de la convection thermique donnée par la loi de Newton :

$Q=h A (T_s- T_\infty)$ (II.2)

Où:

Chapitre II : Généralités sur le transfert et les échangeurs de chaleur

Q : Quantité de chaleur échangée [kW].

A : Surface d'échange de la chaleur [m²].

T_s : Température de la surface du solide en contact avec le fluide.

T_∞ : Température du fluide.

h : Coefficient de la loi de Newton (coefficient de convection thermique)

[kW/ m².°C].

Ce coefficient caractérise l'efficacité de la convection, il dépend :

a- Des caractéristiques de la paroi en contact avec le fluide : forme, dimension et état de surface.

b- De la manière dont le fluide circule par rapport à la paroi : orientation de la vitesse et grandeur de cette vitesse.

c- Des caractéristiques physiques du fluide : conductivité thermique, chaleur massique, masse volumique et viscosité.[2]

II.1.4) Phénomène de rayonnement :

➤ **Définition :**

Lorsqu'un corps est porté à une température quelconque, il émet un rayonnement de nature électromagnétique comparable à la lumière ou aux ondes hertziennes, qui transportent de l'énergie et peut se propager, même dans le vide absolu, à la vitesse de la lumière ($C=3.10^8$ m/s). Un autre corps, recevant ce rayonnement, peut en absorber une fraction plus ou moins grande qui est alors transformée en chaleur.

Il est ainsi possible, grâce au rayonnement, même en absence de tout support matériel, de transmettre de la chaleur d'un corps vers un autre à une température plus basse.

➤ **Loi de Boltzmann :**

Elle concerne l'émission totale d'une surface d'un corps noir ou gris, qui surmonte cette surface.

La loi de Boltzmann exprime le flux de chaleur émis par la surface:

$$Q = \varepsilon \sigma T^4 \quad \dots\dots\dots(\text{II.3})$$

Où :

Q : Flux de chaleur émis [kW/m²].

ε : Emissivité de la surface.

Chapitre II : Généralités sur le transfert et les échangeurs de chaleur

$\sigma = 5.669 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{k}^4$: constante de Stephane-Boltzmann.

Finalement, le flux thermique qui est échangé entre deux corps est donné par la relation

suivante: $Q = F_G F_\varepsilon \sigma (T_e^4 - T_s^4)$ (II.4)

Où:

F_G : Facteur géométrique ($F_G = 1$, si toute l'énergie du corps (1) est reçue par le corps (2), et vice versa).

F_ε : Facteur fonction des émissivités des corps.

Dans la réalité, tout échange thermique s'effectue simultanément et éventuellement sous trois modes de transfert qui se concurrencent, l'échange est alors la somme des trois effets.

Cependant, lorsque l'un des modes est prédominant, on négligera l'effet des deux autres.

Les procédés utilisés dans l'industrie demandent souvent que les fluides traités soient réchauffés ou refroidis avec ou sans changement de phases au cours des diverses opérations auxquelles ils sont soumis. La chaleur mise en œuvre représente une importante dépense d'énergie dont il est nécessaire de récupérer la plus grande quantité possible. De ce fait les échangeurs de chaleur constituent des appareillages importantes.[2]

II.2) Technologie sur les échangeurs de chaleur :

Introduction :

Les process les plus couramment rencontrés dans l'industrie pétrochimique ou autre, font intervenir l'échange de chaleur entre deux fluides. Le système utilisé dans cette situation est un échangeur de chaleur : c'est un appareil destiné à transférer un flux de chaleur d'un fluide à un autre. En général, les deux fluides sont séparés par une paroi (simple ou composée) constituant ainsi une résistance thermique. Dans certains équipements, le transfert thermique se fait par contact direct entre les fluides en présence. C'est le cas des condenseurs, évaporateurs, tours de refroidissement, ou l'un des fluides subit un changement de phase. Notre étude se base sur les échangeurs à fluides séparés, du fait de leur emploi quasi fréquent sur les unités industrielles.

II.2.1) Classification des Echangeurs de Chaleur :

La classification des échangeurs peut obéir :

- ⇒ Type de conception technologique
- ⇒ Procédé de transfert
- ⇒ Ecoulement des fluides
- ⇒ Degré de compacité.

○ Type de conception :

C'est la classification la plus répandue. Le modèle le plus simple d'échangeur qui puisse exister se compose de deux tubes coaxiaux. L'un des fluides circule dans le tube intérieur, alors que l'autre circule dans l'espace annulaire formé par les deux tubes : c'est l'échangeur tubulaire. On peut avoir aussi des échangeurs à faisceaux et calandre, il existe d'autres types d'échangeur appelés échangeur à plaque, spirales, à surface raclée, en plastique, à circuit imprimé et à tube en verre.

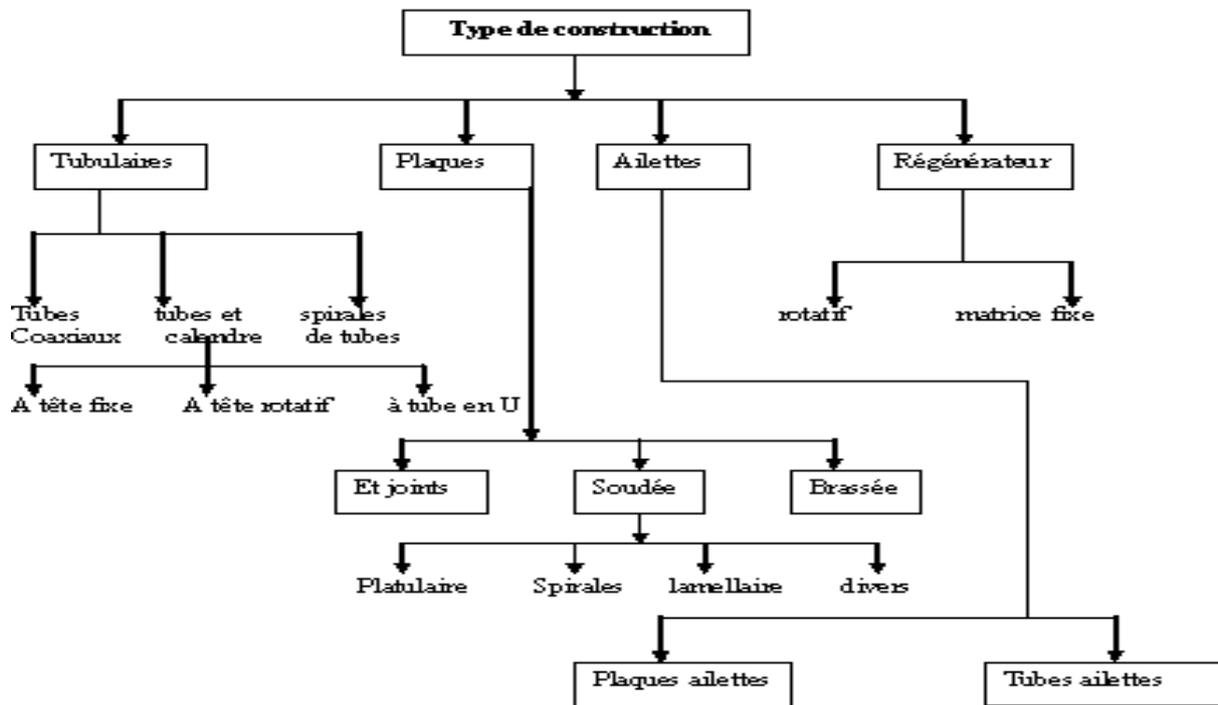


Figure II.1 : Classement selon type de conception des échangeurs. [3]

Chapitre II : Généralités sur le transfert et les échangeurs de chaleur

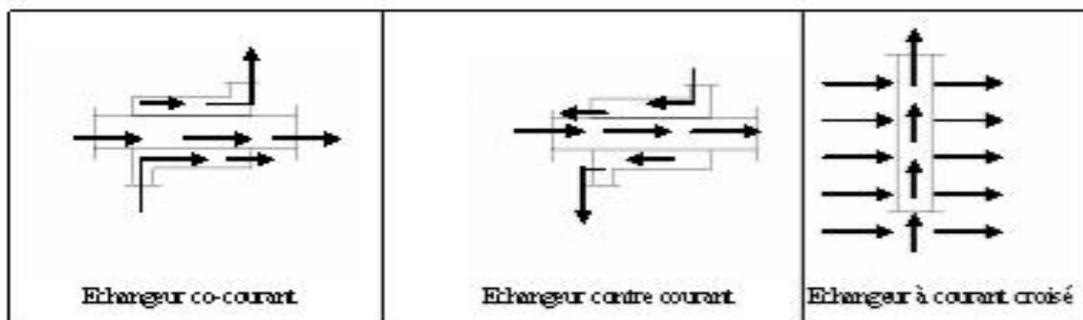
○ Procédé de transfert :

Les fluides mis en jeu dans l'échangeur peuvent entrer en contact direct : c'est le cas des tours de refroidissement des centrales nucléaires. En revanche, si les fluides sont séparés par une paroi comme dans le cas d'un radiateur de chaleur, l'échangeur sera dit contact indirect

○ Ecoulement des fluides :

Selon le sens d'écoulement de fluide on distingue trois types d'échangeurs :

- A co-courant
- A contre courant
- A courant croisé



- Figure II.2 : modes d'écoulements de deux fluides dans un échangeur [3]

○ Degré de compacité :

Les échangeurs compacts sont construits pour présenter une grande surface d'échange dans un volume réduit (supérieure 700 m² par m³). A titre d'exemple, illustre l'importance de la compacité en matière d'encombrement pour quelques types d'échangeurs.

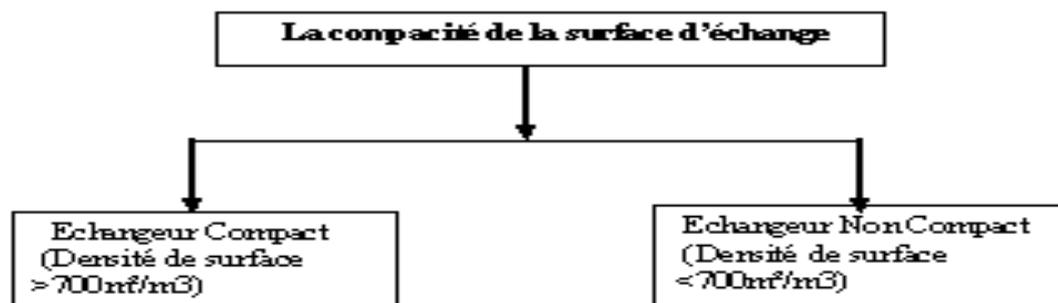


Figure II.3 : La compacité de la surface d'échangeur [3]

Conclusion : retenons enfin que quel que soit le type d'échangeur retenu parmi ceux cités plus haut, il s'agira pour nous d'évaluer ses performances thermiques pour proposer un appareil capable de réaliser un service conforme à celui exigé par le client tout en restant économique.

II.2.2) Echangeurs tubulaires :

Les échangeurs à faisceaux tubulaires connus aussi sous le nom d'échangeurs calandre et tubes, sont des appareils thermiques dans lesquels circulent deux fluides (liquide/liquide, liquide/gaz, gaz/gaz) et qui changent de chaleur.

Durant notre stage nous avons constaté qu'il existe trois sortes d'échangeurs tubulaires sur les sites pétroliers que nous avons visités.

- échangeur tubulaire monobloc : les plaques tubulaires sont soudées directement avec la calandre.
- échangeur tubulaire en U : porte une seule plaque tubulaire
- échangeur tubulaire à tête flottante [4]

Description de ces trois cas :

○ **Echangeur monobloc :**

Les plaques sont directement soudées sur la calandre. De construction peu onéreuse, ces appareils permettent de loger le maximum de tubes à l'intérieur de l'enveloppe, mais ils ne peuvent être utilisés que si la différence entre les températures de peau des tubes et la calandre est suffisamment faible (inférieure à 30°C) pour que la dilatation ou la contraction du faisceau soit acceptable. Dans le cas où cette différence entraîne des contraintes importantes, des soufflets de dilatation doivent être utilisés.

En outre le nettoyage de l'extérieur des tubes ne peut s'effectuer que par voie chimique. Leur emploi en raffinerie reste donc très limité.

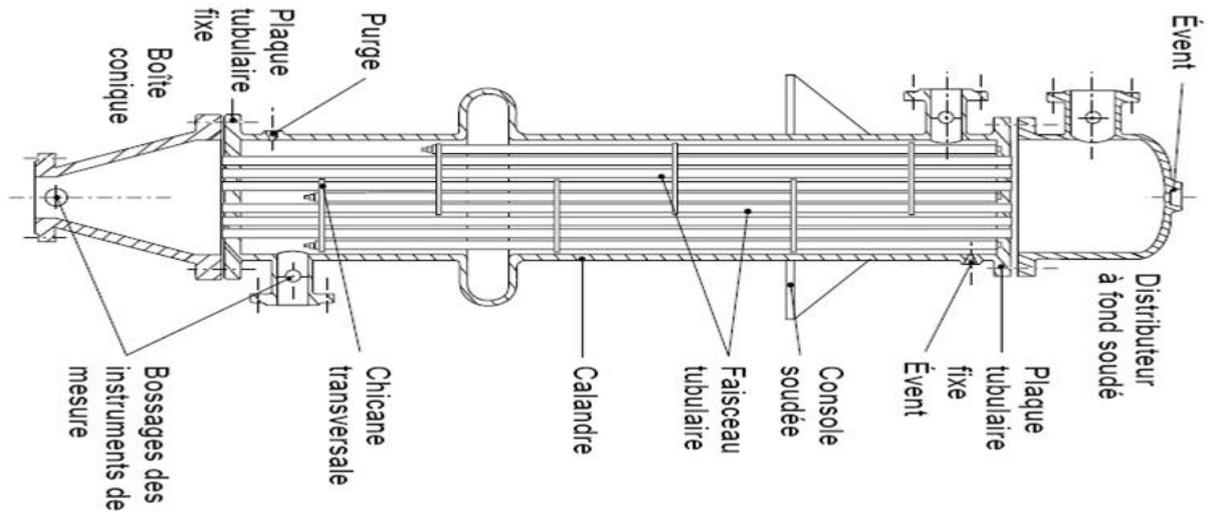


Figure II.4 : composants d'un échangeur à plaque tubulaire fixe.[5]

○ **Echangeur à tubes en U :**

Le faisceau est constitué de tubes coudés en forme d'épingle, il n'est donc porté que par une seule plaque tubulaire. Ce système permet la libre dilatation du faisceau. En revanche, le nettoyage des tubes est difficilement réalisable autrement que par voie chimique.

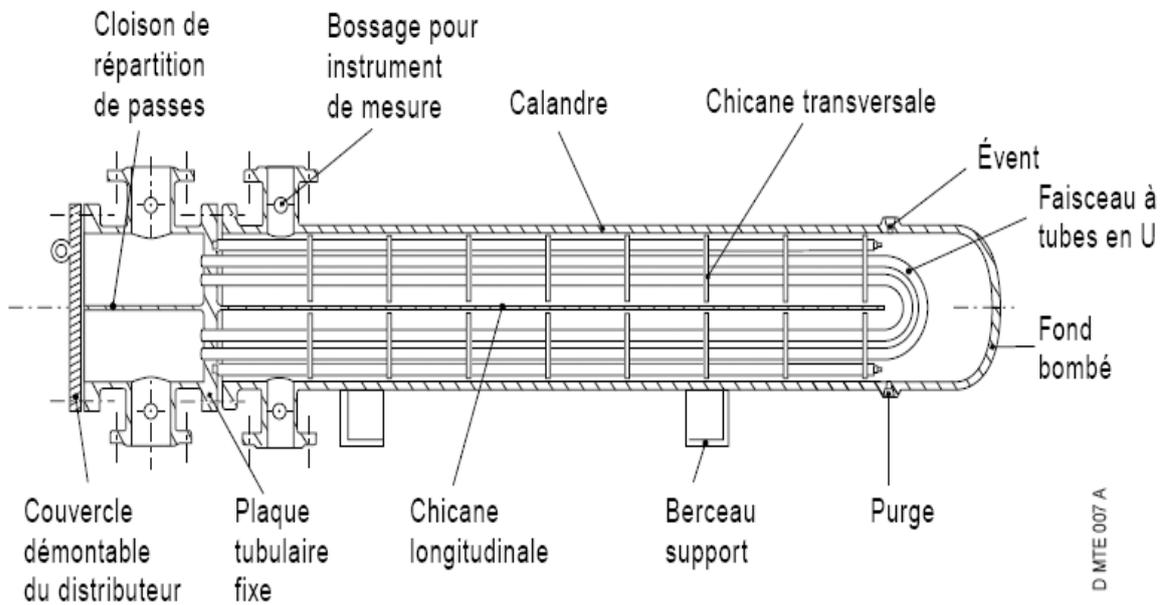


Figure II.5 : composants d'un échangeur à tube en U.[5]

○ Echangeur à tete flottante :

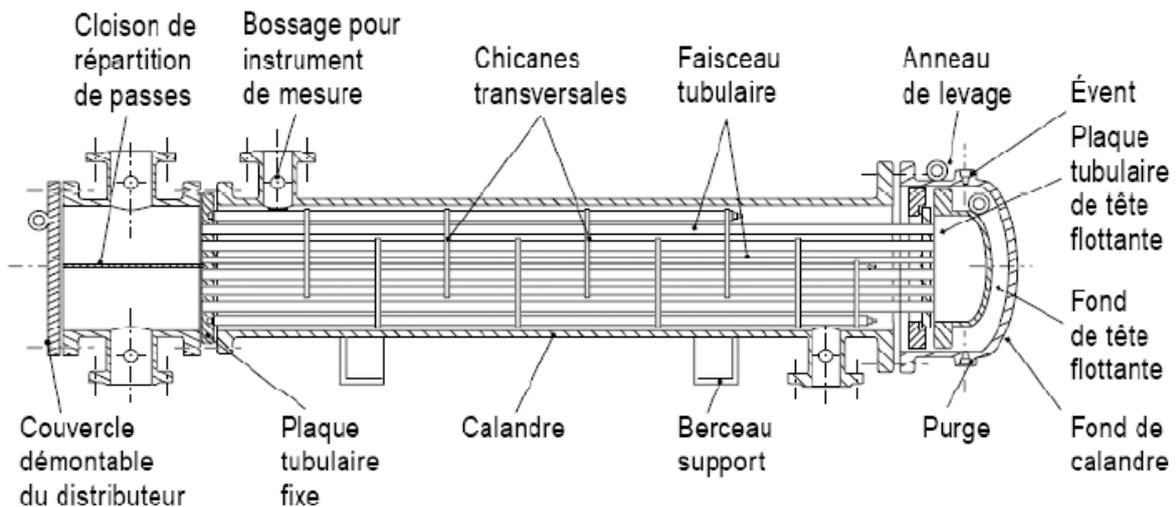


Figure II.6 : composants d'un échangeur à faisceau et calandre à tête flottante. [5]

Les deux premiers cas cités ci-dessus sont généralement utilisés dans les unités de GPL ou, les produits véhiculés dans les échangeurs sont propres et ne cause pas le bouchage des tubes surtout sur la partie en U.

Le 3^{ème} cas est utilisé fréquemment dans les stations de traitement de brut ou les raffineries car les produits utilisés sont impropres.

Pour la construction des échangeurs la société américaine TEMA prévoit trois classes d'échangeurs tubulaires classés selon l'ordre de sévérité croissante

- Le type de boite avant
- Le type de calandre
- Le type de la boite arrière.

II.2.3) Recommandations du TEMA :

Le standard TEMA introduit des recommandations pour la construction des échangeurs.

-Les tolérances de fabrication des différents éléments constituant un échangeur sont proposées, l'axiété, la planéité et autres paramètres sont également mentionnés.

-Un modèle de feuille de calcul (ou notice des spécifications) est recommandé.

-Une plaque minéralogique est demandée sur ce type d'échangeurs, sur la base d'un inspecteur des mines. La procédure d'inspection doit répondre au code ASME section et éventuellement des codes locaux. Le fabricant doit garantir les performances thermiques

Chapitre II : Généralités sur le transfert et les échangeurs de chaleur

et mécanique de l'échangeur durant l'exploitation et ce conformément aux doléances du client, soit 12 mois après livraison, quand l'échangeur est utilisé dans les bonnes conditions. Ajoutons que la durée de vie et la satisfaction du client sont obtenues pour les unités qui sont bien connues et construites avec soins. Une installation correcte et une maintenance préventive sont de la responsabilité de l'utilisateur. [6]

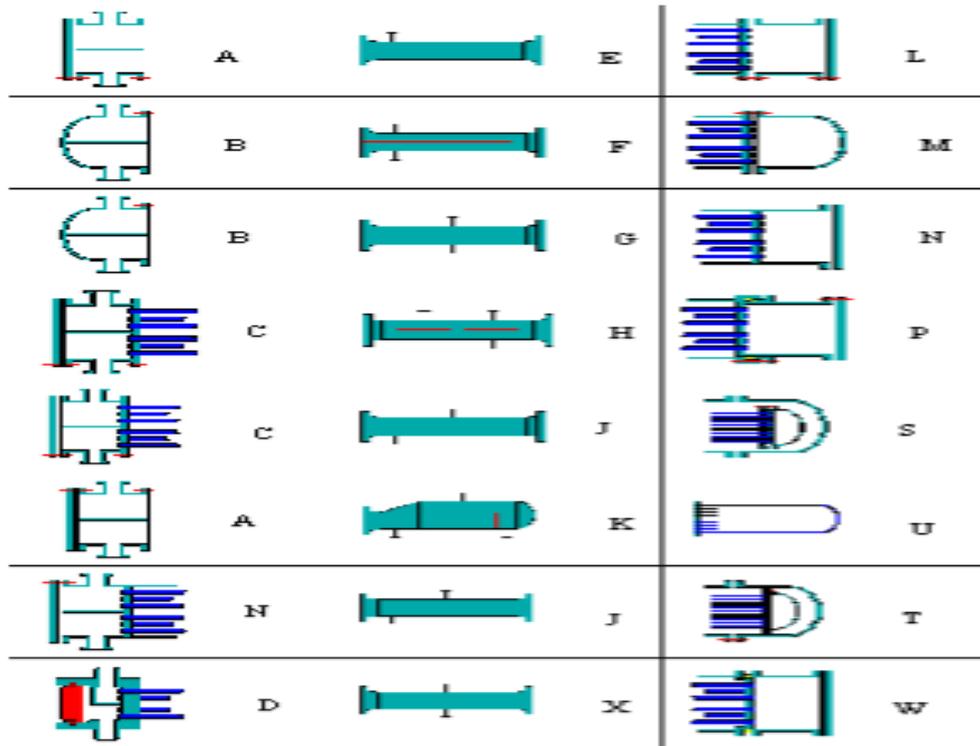


Figure II.7 : Exemples de combinaison d'échangeurs TEMA. [6]

Chapitre III :

*Technologie du
préchauffeur P30-GA-
21-01 A/B*

Introduction :

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

III.1) Les éléments essentiels constituant l'échangeur :

○ Extérieurement :

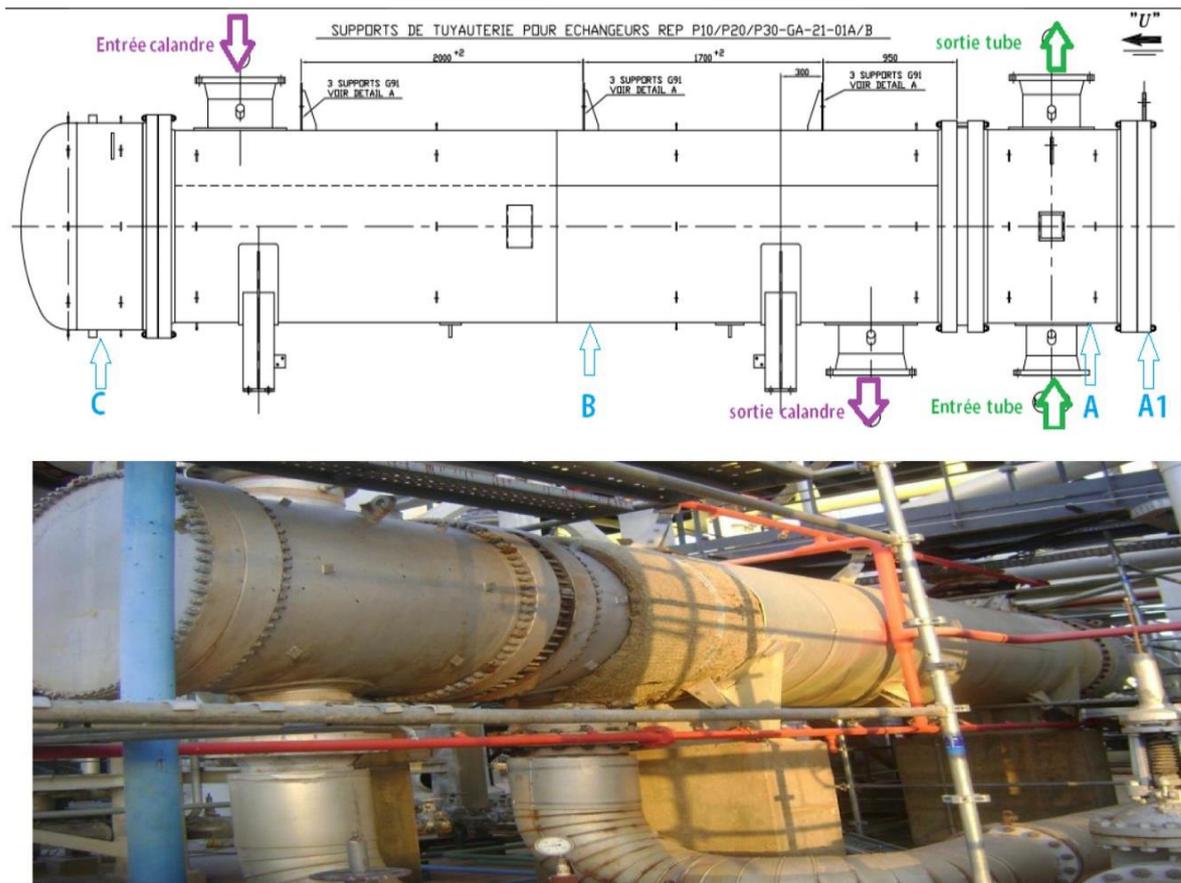


Figure III.1 : préchauffeur P30-GA-21-01 A/B. [1]

a. 1ère boîte d'échangeur (distributeur) « A » :

C'est l'organe qui reçoit et distribue le fluide dans les tubes (A1 c'est la plaque de fermeture) elle porte deux brides dont l'entrée est une 12'' 300 et sortie 14'' 300 pour le préchauffeur A et 14''300 et 16'' 300 pour préchauffeur B.



Figure III.2 : Boite de distribution.

- 2^{ème} boite appelée calotte qui ferme la calandre « C »

b. Calandre (virole) « B » :

C'est l'enveloppe cylindrique qui contient le faisceau tubulaire. la limite technologique du diamètre de la calandre se situe vers 2 m.



Figure III.3 : Calandre un seul passe.[7]

- Deux tubulures de 18 " 150 servant comme entrée et sortie de liquide dans la calandre.
- Deux plaques signalétiques

Chapitre III : Technologie de préchauffeur P30-GA-21-01 A/B

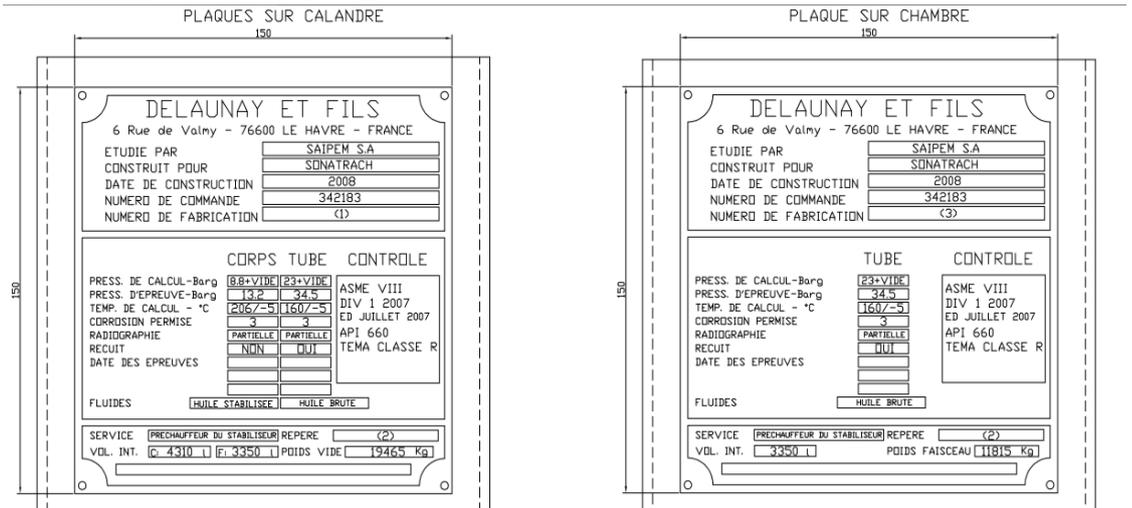


Figure III.4 : Les plaques signalétiques.[1]

c. Events et vidange :

Dans toute conception d'un échangeur destiné pour le réchauffage ou le refroidissement d'un liquide, il est impératif de prévoir des piquages de vidange et d'évents afin d'éliminer d'éventuelles poches de gaz qui en stagnant dégradent les performances de l'échangeur.

○ Intérieurement :

a. Faisceau tubulaire :

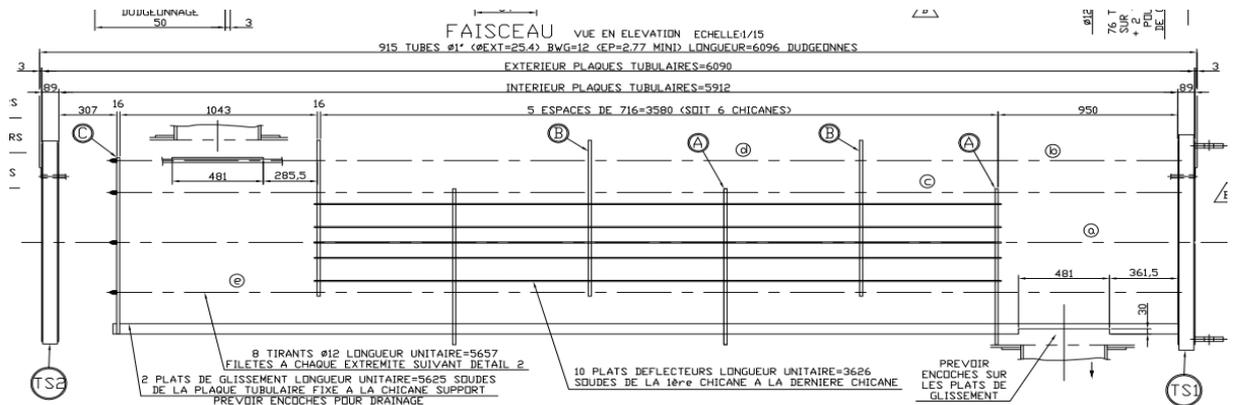


Figure III.5 : Schéma de Faisceau tubulaire.[1]

Faisceau tubulaire il est composé de :

-02 plaques tubulaires

- 915 tubes de diamètre intérieur 25.4 mm et de longueur 6096mm.

- 8 tirants de longueur 5657mm et les entretoises.

- 07 chicanes maintenues par 10 plats.
- un déflecteur.
- 02 plats de glissements.



Figure III.6 : faisceau tubulaire.

b. Deux plaques tubulaires:

Ce sont des plaques percées et supportant le faisceau tubulaire aux extrémités de la calandre. Leur épaisseur est calculée de façon à tenir compte de la différence de pression entre le fluide dans la calandre et le fluide dans les boîtes ainsi que des contraintes dues aux différences de dilatation entre tubes et calandre. Les tubes sont fixés sur les plaques par dudgeonnage, les plaques tubulaires ont chacune 915 trous sur pas carré incliné.



Figure III.7: la plaque tubulaire

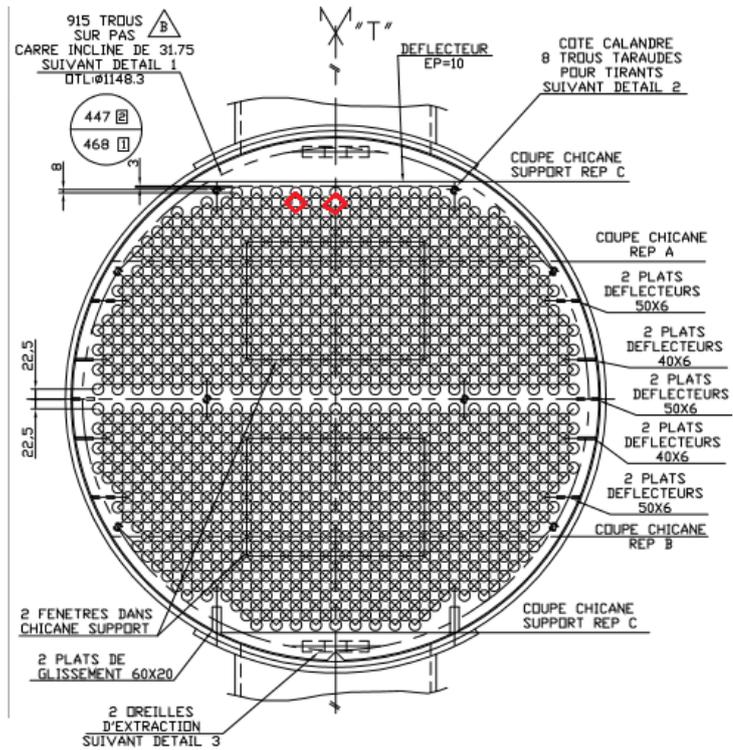


Figure III.8 : Schéma de la plaque tubulaire de préchauffeur.[1]

c. Chicane:

De forme verticale, elles servent à assurer une bonne rigidité du faisceau et un bon brassage du fluide, car en augmentant la vitesse d'écoulement de celui ci, elles améliorent le coefficient d'échange.

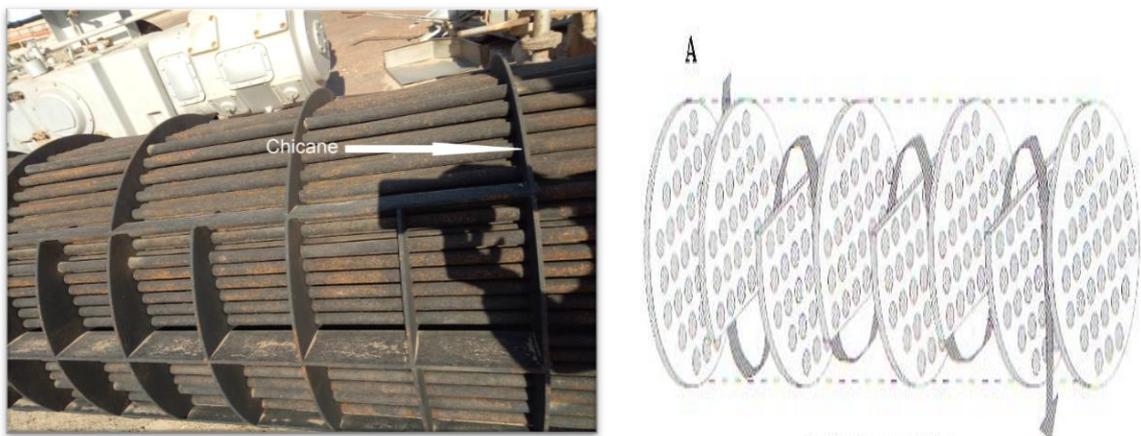


Figure III.9 : chicanes transversales. [7]

d. Tirants et entretoises :

Assurent la liaison et l'espacement des chicanes et confèrent de la rigidité au faisceau.

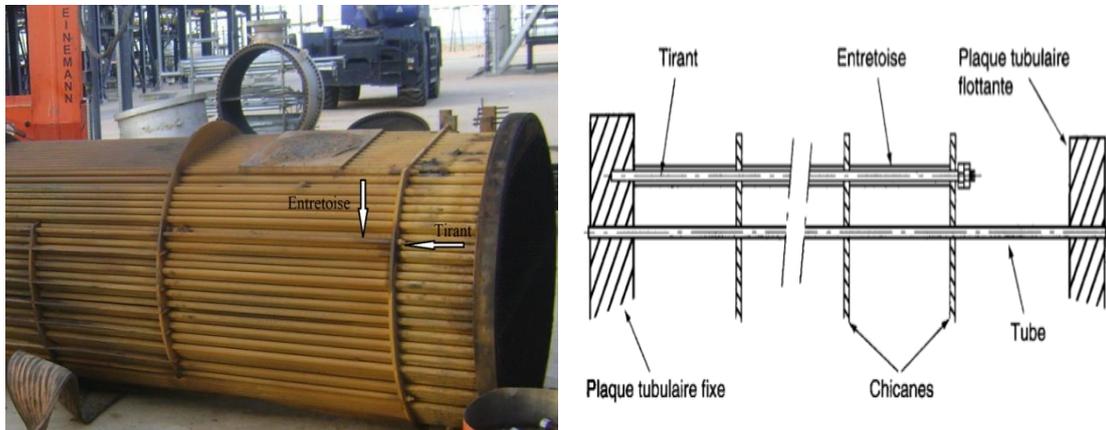


Figure III.10 : Tirants et Entretoises. [7]

e. Déflecteur :

Assure l'orientation de l'écoulement du fluide entrant afin d'assurer une bonne distribution de celui-ci et protège dans certains cas, le faisceau contre l'impact direct du fluide entrant

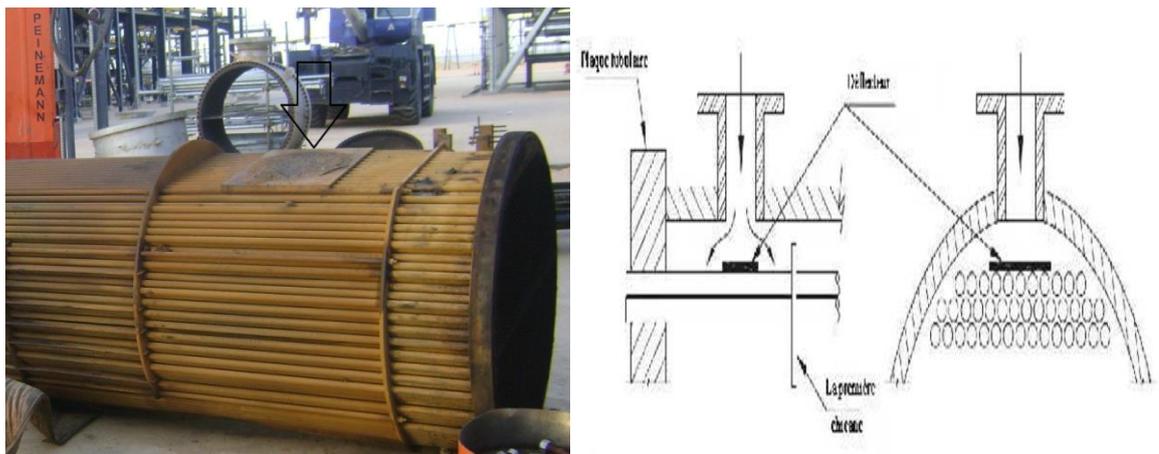


Figure III.11 : Déflecteur. [7]

f. Tête flottante avec ses accessoires :

Anneaux demi-lune et les éclisses elle sert de fermeture des tubes et se fixe sur la plaque tubulaire arrière.



Figure III.12 : la tête flottante

III.2) Description de Préchauffeur P30-GA-21-01 A/B :

Tableau III.1 : Description de préchauffeur.[1]

Référence		ASME VIII div1 /TEMA R /API 660 /DPEM			
Surface		851 m ²			
Dimension		1200-6096 AES			
Type de fluide		Huile/Huile			
Poids		Calandre :		Tube :	
		17430 kg		10900 kg	
Nombre du tube 915	Øext :	épaisseur :		Longueur :	
	25.40 mm	2.77mm		6096mm	
Chicanes		Simple segmentation 716 mm			
Défecteur		Oui			
Diamètre des tubulures		Calandre		Tube	
		Entrée	Sortie	Entrée	Sortie

	16 " 150 RF	16 " 150 RF	16"A 18"B 150 RF	18" 150 RF
Nombre de passe	Calandre : 1		Tube : 2	
Type de bride	WN RF			
Type de joint	10			

III.3) Le rôle de préchauffeur :

Le préchauffeur de la colonne de stabilisation est constitué de deux échangeurs de chaleur huile/huile avec leurs deux chambres (côté tubes) en série qui permettent de chauffer une partie (≈ 80%) de l’huile provenant du dessaleur et d’obtenir la température requise pour l’alimentation chaude de la colonne. Le préchauffage est fourni par l’huile stabilisée (via le côté calandre des échangeurs), issue du fond de la colonne de stabilisation. La température en sortie du préchauffage de la colonne de stabilisation côté calandre est régulée par le contrôleur de température 21-TIC-0X101 (température de consigne de 120°C) qui agit en « split-range » sur les vannes 21-TV-0X101 A, en sortie huile chaude (côté calandre) du second échangeur en ligne (PX0-GA-21-01A), et 21-TV-0X101 B agit elle, comme by-pass à l’arrivée huile chaude (côté calandre) du premier l’échangeur en ligne (PX0-GA-21-01 B).[1]

Tableau III.2 : caractéristiques thermiques de préchauffeur P30-GA-21-01 A/B. [1]

Equipement	PX0-GA-21-01 A/B
Chaleur échangée	14.9 MW
Pression de service	6.9 Bar (tubes) / 5.6 Bar (calandre)
Température de service entrée	68°C (tubes) / 135 - 160°C (calandre)
Température de service sortie	82 – 114 °C (tubes) / 120°C (calandre)
Pression de calcul	23 Bar (tubes) / 8.8 Bar (calandre)
Température de calcul	160°C (tubes) / 206°C (calandre)

III.4) Problèmes de fonctionnement des échangeurs :

Lors de l'exploitation des échangeurs de chaleur, les industriels sont le plus souvent confrontés aux phénomènes liés à l'encrassement, la corrosion et les vibrations, voir la tenue mécanique des appareils. La tenue mécanique des échangeurs peut être considérée comme un problème à part, dans la mesure où pour les échangeurs de géométrie classique, elle est réglementée par des textes spécifiques et est en phase d'être régie par une normalisation européenne. Dans notre cas en prenons le problème d'encrassement comme cas d'étude.

III.4.1) Encrassement :

L'encrassement englobe tout processus d'accumulation de particules solides contenues dans un fluide en circulation, soit par dépôt de tartre, soit par apparition de micro-organismes d'origine biologique. [6]

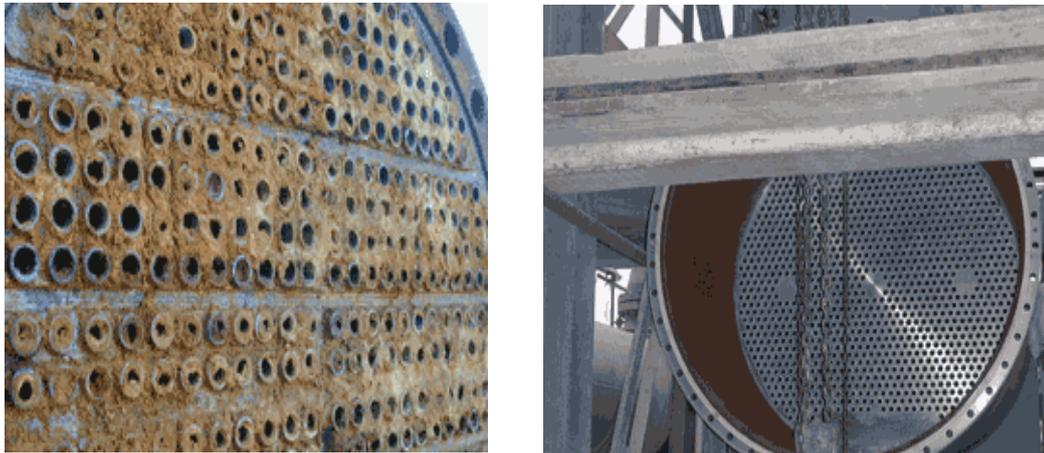


Figure III.13 : Echangeur encrassé et propre. [6]

III.4.2) Types d'encrassement :

Selon le mécanisme de dépôt, on convient de classer les différents types d'encrassement en six catégories :

- ✓ Encrassement particulaire,
- ✓ Corrosion,
- ✓ Entartrage,
- ✓ Encrassement biologique,
- ✓ Encrassement par réaction chimique,
- ✓ Encrassement par solidification. [6]

III.4.3) Impact d'encrassement sur le dimensionnement des échangeurs :

D'un point de vue thermique, l'encrassement d'un échangeur se traduit par la diminution de ses performances. En effet, les différents dépôts localisés sur la surface d'échange génèrent une résistance thermique supplémentaire qui s'oppose au transfert de chaleur à travers la paroi et par suite une diminution du coefficient d'échange global. Et pour cela Il existe des procédés mécaniques et chimiques de prévention de l'encrassement pendant le fonctionnement de l'échangeur. L'objectif de ces procédés est non seulement une amélioration notable des performances, mais également une augmentation de la durée de service entre deux arrêts programmés (pour maintenance). [6]

III.5) Maintenance de l'échangeur :

Selon la réglementation ministérielle, les appareils à pression à gaz qu'on nomme APG subissent deux révisions systématiques, la première est la révision triennale, c'est-à-dire chaque trois ans, ou l'appareil est présenté à un inspecteur d'un organisme de contrôle agréé par l'état (Sonatrach travaille avec ENACT : entreprise nationale de contrôle technique), la deuxième est la révision décennale c'est-à-dire chaque 10 ans . L'appareil doit être présenté et inspecter par ENACT et en plus doit subir un test hydrostatique en présence de l'inspecteur.

Avant d'entrer dans les détails, parlons un peu de la maintenance des échangeurs de chaleur. Chaque installation pétrolière possède des équipements statiques : colonne, échangeurs de chaleur, four, aéros réfrigérants, ballons et rebouilleurs.

Pour assurer un bon fonctionnement de ces sites pétroliers, un organisme bien détaillé soit étudié et réalisé. Cet organisme est composé de directions ou divisions qui s'occupent des tâches de travail, le service maintenance pratique deux sortes de maintenance :

- a- Maintenance préventive
- b- Maintenance curative

○ Maintenance préventive :

C'est une maintenance systématique. Un contrôle routinier est réalisé par les gens de la maintenance (mécaniciens, électriciens, instrumentiste, informaticiens)

Pour les échangeurs qui nous concernent on observe :

- Etanchement de fuite au niveau des boîtes.

- Changement d'instruments de régulation défectueux.

- **Maintenance curative :**

- Mélange de deux produits qui circulent dans l'échangeur (tubes percés ou dudgeonnage défectueux), pour réparer ces deux problèmes procéder au test d'étanchéité coté calandre et obturer les tubes percés ou dudgeonner les tubes fuyards.



Figure III.14 : Outil de dudgeonnage des tubes.

III.5.1) Présentation de la révision décennale :

Suivant un programme bien déterminé chaque unité de production doit être arrêtée pour entamer la révision de ces équipements qui étaient en service.

En plus de la tâche des tests hydrostatiques programmée dans la révision décennale les mêmes tâches seront réalisées dans les deux révisions.

III.5.2) Suivi de la révision du préchauffeur :

a. Opération de démontage :

- 1- Installation des échafaudages.
- 2- Dé calorifugeage des parties boulonnées.
- 3- Mise sous joints pleins coté calandre.
- 4- Démontage de la boîte de distribution, calotte et tête flottante.
- 5- Extraction du faisceau en utilisant un extracteur de faisceau et une grue.
- 6- Transfert de toutes ces pièces vers la plate forme de nettoyage.



Figure III.15 : Extracteur faisceau.

b. Opération de nettoyage :

- 1- Nettoyage interne de la calandre.
- 2- Nettoyage des faisceaux tubulaires intérieurement et extérieurement.
- 3- Nettoyage des boîtes de distribution, calottes et têtes flottantes.

c. Inspection :

Une 1^{ère} inspection a été réalisée avant le nettoyage. Constatation d'un encrassement dans les tubes. Présence de paraffine dans la tête flottante, extérieurement les faisceaux apparaissent propres.

On conclut que les tubes sont encrassés à l'intérieur à cause de brut non stabilisé.

Une 2^{ème} inspection sera réalisée après le nettoyage. Aucune réserve de la part d'inspection.

Les tubes sont bien nettoyés intérieurement et extérieurement, pas de déformation des chicanes, aucune corrosion n'apparaît sur les surfaces des tubes.

Remontage des faisceaux sur site et préparation pour test hydrostatique :

d. Test hydrostatique :

➤ **Test coté calandre :**

Une fois les faisceaux sont sur site on place les anneaux de test avant et arrière. On place 02 vannes de test l'une au point de vidange et l'autre au point de l'évent, on remplit la calandre avec de l'eau traitée et on place un manomètre et un enregistreur de pression, on gonfle à la

pression d'épreuve par palier, après 2 heures d'attente un bon diagramme est tracé dans l'enregistreur (aucune fuite et aucun tube percé : test positif).

- Décompression par palier, vidange et soufflage à l'air de la calandre.

➤ **Test coté tube :**

On démonte les anneaux de test et on remonte la boîte de distribution et la tête flottante. Mise en place d'un enregistreur et d'un manomètre étalonnés on remplit les tubes avec l'eau traité et on gonfle à la pression d'épreuve par palier. Après 2 heures d'attente : aucune fuite à signaler, la charte de diagramme est bonne.

- Décompression, vidange et soufflage à l'air des tubes.
- Remise en place la calotte et dépose les joints pleines coté calandre.
- Le préchauffeur est prêt à remettre en service après installation des instruments de régulation.



Figure III.16 : Quelques équipements utilisés dans le test hydrostatique.

III.5.3) Observations :

La perte de charge coté tubes du réchauffeur d'huile est remontée en permanence vers le DCS par l'intermédiaire du transmetteur 21-PDT-0X110. En cas d'encrassement excessif, une alarme 21-PDAH-0X110 est générée ($\Delta P > 0.8$ bar). Il est alors nécessaire de nettoyer les tubes encrassés. Un PDG permet de mesurer localement la perte de charge créée au niveau des tubes sur chaque échangeur (21-PDG-0X102A pour l'échangeur PX0-GA-21-01A et 21-

PDG-0X102B pour l'échangeur PX0-GA-21-01B) et ainsi de déterminer le faisceau de tubes sur lequel il est nécessaire d'intervenir. Chaque chambre peut être isolée afin de permettre une intervention de nettoyage. Un piquage de 4'' est prévu à l'entrée de chaque faisceau de tube pour le rinçage des tubes sans démontage. Un encrassement côté chambre va se traduire par une augmentation de la perte de charge et, à terme, une impossibilité de contrôler le niveau en fond de colonne de stabilisation (la perte de charge devient trop importante pour permettre l'écoulement de l'huile stabilisée jusqu'aux bacs de stockage de l'huile stabilisée). Des manomètres installés en entrée et sortie de chaque chambre permettent de savoir sur quelle chambre il est nécessaire d'intervenir. Chaque chambre peut être isolée individuellement pour faciliter les opérations de maintenance. [1]

Conclusion :

L'utilisation industrielle des échangeurs de chaleur ne pose pas de problèmes particuliers dans le cas où les parois des surfaces d'échange restent propres pendant toute la durée du fonctionnement de l'appareil. Mais dans de nombreuses applications, il n'en est pas ainsi. La circulation de l'un des fluides est souvent accompagnée de la formation de dépôt et habituellement, l'épaisseur de ce dernier croît avec le temps. Or la présence de ces dépôts réduit le flux thermique et empêche de réaliser entièrement l'opération désirée. Il est donc indispensable de procéder à un nettoyage périodique d'un tel échangeur.

Chapitre IV :
Calcul thermique
(Préchauffeur P30-GA-
21-01 A/B)

Introduction :

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

IV.1) But de calcul :

Le but de notre calcul concerne en premier lieu la vérification des performances de l'échangeur P30-GA-21-01 A/B après nettoyage et changement des tubes (retubage), en calculant la résistance d'encrassement, ses pertes de charge et son efficacité. Et dans la deuxième partie on s'intéresse au suivi des performances de l'échangeur dans le temps avant l'entretien.

Dans le cas de notre étude le préchauffeur est composé de deux échangeurs placés en série, peuvent être considérés comme étant un seul échangeur ayant les caractéristiques suivantes :

- Le même débit de brut traverse le côté tube de chaque échangeur.
- Le même débit de brut traverse le côté calandre de chaque échangeur.
- Le nombre de tubes total est la somme des tubes de chaque échangeur.
- Le nombre total de passes côté tube est égal à deux fois le nombre de passes côté tube de chaque échangeur.
- Les températures d'entrée et de sortie des fluides sont prises aux extrémités de la batterie.
- Le débit volumique du brut reste constant le long du circuit de préchauffe.

IV.2) Hypothèses simplificatrices :

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

- le régime est permanent,
- les propriétés thermo physiques des fluides sont constantes (dans l'intervalle de température considéré),
- l'échangeur est adiabatique,

Chapitre IV : Calcul thermique (Préchauffeur P30-GA-21-01 A/B)

- le transfert de chaleur s'effectue par convection et conduction,
- la seule surface d'échange est la surface de séparation des deux fluides (pas de changement de phase).

IV.3) Données et caractéristiques des échangeurs :

- **Données des échangeurs :**

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

	Coté calandre	Coté tube
Fluide circulant	Brut stabilisé	Brut non stabilisé
Débit entrant (Kg/h)	Mc=539 081,1	mf=454452,2
Température d'entrée (°C)	T ₁ =160	t ₁ =68 ,1
Température de sortie (°C)	T ₂ =119,8	t ₂ =114,1
Pression d'entrée (bar)	6.9	5.6
Densité a 15°	0,79	0,78
Chaleur spécifique a pression constante (Kj/Kg°C)	2,466	2,198
Viscosité dynamique (mPa.s)	$\mu_7 = 0.332$ $\mu_1 = 0.499$	$\mu'_2 = 0.770$ $\mu'_1 = 0.489$
Conductivité (w /m.k)	$\lambda_c = 0.106$	$\lambda_t = 0.113$
Diamètre intérieur de la calandre (m)	1,2	
Nombre des tubes	1830	
Pas : Carrés renversé (m)	$31,75 \cdot 10^{-3}$	
Epaisseur des tubes (m)	$2,77 \cdot 10^{-3}$	
Longueur des tubes (m)	6,096	

Chapitre IV : Calcul thermique (Préchauffeur P30-GA-21-01 A/B)

- **Caractéristique de l'échangeur :**

Tableau IV.2 : caractéristique de l'échangeur. [1]

Calandre	
Nombre de passes	$N_c = 2$
Diamètre intérieur	$D_i = 1.2 \text{ m}$
Espacements des chicanes	$B = 716 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
Epaisseur des chicanes	$e_c = 24,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
Résistance d'encrassement	$r_c = 0.00035 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
Pertes de charge admissible	$\Delta P_{adm} = 0,90 \text{ Bar}$
Tubes	
Nombres des passes	$N_p = 4$
Nombres des tubes	$N_t = 1830$
Longueur des tubes	$L = 6.096 \text{ m}$
Diamètre intérieur des tubes	$D_i = 19,86 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
Diamètre extérieur des tubes	$D_e = 25,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
Pas : carrés renversé (m)	$P = 31,75 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
Resistance d'encrassement	$r_t = 0,00035 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
Pertes de charge admissible	$\Delta P_{adm} = 0,90 \text{ Bar}$

IV.4) Exemple de calcul :

Pour cet exemple on prend la date du (01/08/2016) qui correspond aux quelques jours de remise en service de train 30 après révision triennale 2016, la procédure de calcul des caractéristiques thermiques d'échangeur est organisée comme ci-dessous selon **la méthode de KERN [6]** :

$T_1 = 148,44 \text{ c}^\circ$	$T_2 = 126,03 \text{ c}^\circ$	$d_4^{15} = 0,8019$
$t_1 = 67,8 \text{ c}^\circ$	$t_2 = 92,8 \text{ c}^\circ$	$d_4^{15} = 0,7993$

○ **Evaluation des caractéristiques des fluides aux températures caloriques –
Calcul des températures caloriques [6]:**

- La température calorique du fluide chaud (brut stabilisé) :

$$T_C = T_2 + F_C \times (T_1 - T_2) \dots\dots\dots (IV.1)$$

- La température moyenne du fluide froid (brut non stabilisé) :

$$t_c = t_1 + F_C \times (t_2 - t_1) \dots\dots\dots (IV.2)$$

F_C : Coefficient de correction.

On a : $F_C = f(r, e)$

r : le rapport des différences de température aux extrémités froide et chaude.

$$r = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{148,44 - 126,03}{92,8 - 67,8} = \mathbf{0,896}$$

D'après (**le graphe N° 2** de l'annexe A), nous avons $F_C = 0,52$

Donc :

$$T_C = T_2 + F_C \times (T_1 - T_2) = 126,03 + 0,52 \times (148,44 - 126,03) = 137,68^\circ\text{C}$$

$$T_C = \mathbf{137,68^\circ\text{C}}$$

Et :

$$t_c = t_1 + F_C \times (t_2 - t_1) = 67,8 + 0,52 \times (92,8 - 67,8) = 80,8^\circ\text{C}$$

$$t_c = \mathbf{80,8^\circ\text{C}}$$

Chapitre IV : Calcul thermique (Préchauffeur P30-GA-21-01 A/B)

- Propriété physique :

Tableau IV.3 : propriétés physique des fluides circulants dans l'échangeur. [1]

Brut stabilisé				Brut non stabilisé			
ρ_{h^2} (kg/m ³)	C_{ph} (KJ/Kg°C)	μ_h (kg/ms)	λ_h (W/m K)	$\rho_{h'}$ (kg/m ³)	$C_{p_c'}$ (KJ/Kg°C)	$\mu_{c'}$ (kg/ms)	$\lambda_{h'}$ (W/m K)
719,797	2,093	0,0010996	0,106	752,90	1,9864	0,0011059	0,113

- **Calcul de ΔT_{LM} [6] :**

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

➤ **Calcul de ΔT_{LM} :**

Le mode d'écoulement est contre-courant

- Détermination des écarts de température

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

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

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{55,64 - 58,23}{-0,051} = \boxed{50,78^\circ\text{C}} \dots\dots\dots (IV.3)$$

- **Correction de ΔT_{LM} [6] :**

Facteur de correction F_C :

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

$$\Delta T_{lm-corr} = F \times \Delta T_{LM} \dots\dots\dots (IV.4)$$

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

$$r = \frac{(T_1 - T_2)}{(t_2 - t_1)} = 0,89$$

$$E = \frac{(t_2 - t_1)}{(T_1 - t_1)} = 0,31$$

Chapitre IV : Calcul thermique (Préchauffeur P30-GA-21-01 A/B)

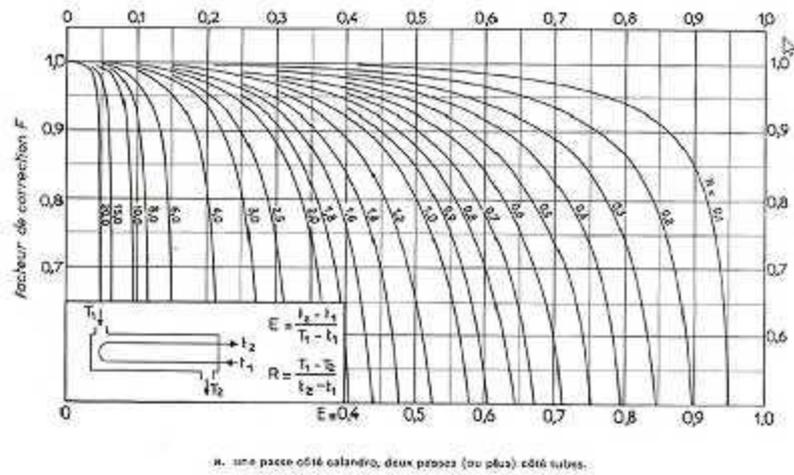


Figure IV.1 : facteur de correction $F = f(r, e)$ [7]

D'après le graphe (Figure IV.1) $F_c = 0.98$

$$\Delta TLM_c = \Delta TLM * F_c = 50,78 \times 0,98 = 49,76^\circ C$$

- **Calcul de coefficient de transfert propre [8] :**

Tableau IV.4 : calcul des caractéristiques hydraulique de l'échangeur.

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

$$U_p = \left(\frac{h_{io} * h_o}{(h_{io} + h_o)} \right) \dots\dots\dots (IV.5)$$

U_p : coefficient d'échange propre (w/m²k)

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

h_o : Coefficient de film externe.

A. côté faisceaux:

➤ Section par passe:

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

➤ Vitesse massique G_t:

$$G_t = \frac{m}{a_t} \quad G_t = \mathbf{890,14 \text{ Kg/m}^2.\text{s}}$$

➤ Calcul du nombre de Reynolds

$$Re = \frac{(d_i * G_t)}{\mu} \quad Re = \mathbf{15985,3336}$$

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

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

F : facteur de correction.

J_h = 62,27 et F = 0,062

$$\text{Donc } \left(\frac{h_i}{\Phi_t} \right) = j_h \left(\frac{\lambda}{d_i} \right) * \left(\frac{c_p * \mu}{\lambda} \right)^{\frac{1}{3}} = \mathbf{759,42 \text{ w/m}^2\text{k.}} \dots\dots (IV.6)$$

$$\left(\frac{h_{io}}{\Phi_t} \right) = \left(\frac{h_i}{\phi_t} \right) \left(\frac{d_i}{d_o} \right) \quad \left(\frac{h_{io}}{\Phi_t} \right) = \mathbf{793,787 \text{ w/m}^2\text{k.}} \dots\dots (IV.7)$$

B. côté calandre:

➤ Section par calandre

$$a_{ct} = \left(\frac{D_c}{p} \right) * (p - d_o) * B \quad a_{ct} = \mathbf{0.17 \text{ m}^2} \quad \dots (IV.8)$$

➤ Vitesse massique G'_t

$$G'_t = \left(\frac{M}{a_{ct}} \right) \quad G'_t = \mathbf{880,85 \text{ Kg/m}^2\text{s}} \quad \dots (IV.9)$$

➤ Calcul du nombre de Reynolds

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

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

$$j_h' = 75,53 \text{ et } F' = 0,075$$

Donc

$$\left(\frac{h_o}{\Phi_c} \right) = j_h' \left(\frac{\lambda'}{D_e} \right) * \left(\frac{c_p' * \mu'}{\lambda'} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \left(\frac{h_o}{\Phi_c} \right) = \mathbf{1393,93 \text{ w/m}^2\text{°K}} \quad \dots (IV.10)$$

❖ Calcul de la température de la paroi

$$T_p = T_c - \frac{\frac{h_c}{\Phi_c}}{\frac{h_c}{\Phi_c} + \frac{h_{i0}}{\Phi_s}} (T_c - t_c) \quad T_p = \mathbf{101,43 \text{ °C}} \quad \dots (IV.11)$$

Chapitre IV : Calcul thermique (Préchauffeur P30-GA-21-01 A/B)

➤ Détermination des viscosités des fluides à la température T_p :

$$\mu = A * e^{B/T_p} \dots\dots\dots (IV.12)$$

Pour le brut : $A = 1,06 \cdot 10^{-3}$; $B = 15,003$; $T(K)$

$\mu_p = 0,00110312 \text{ Kg/ms}$ a $T_p = 101,43 \text{ }^\circ\text{C}$
--

μ_t et μ_t' :

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

$\phi_t = \left(\frac{\mu}{\mu_p} \right)^{0,14}$	$\Phi_t = 0,99959846$
--	-----------------------

$\phi_c = \left(\frac{\mu'}{\mu_p} \right)^{0,14}$	$\Phi_c = 1,00035497$
---	-----------------------

$h_{io} = \left(\frac{h_{io}}{\Phi_t} \right) * \Phi_t$	$h_{io} = 793,4682 \text{ w/m}^2 \text{ K}$
--	---

$h_o = \left(\frac{h_o}{\Phi_c} \right) * \Phi_c$	$h_o = 1394,4248 \text{ w/m}^2 \text{ K}$
--	---

$U_p = \left(\frac{h_{io} * h_o}{(h_{io} + h_o)} \right)$	$U_p = 505,70 \text{ w/ m}^2 \text{ k}$
--	---

○ **Le flux échangé [6] :**

$$Q = \dot{m} \times C_p \times (t_2 - t_1) \dots\dots\dots (IV, 13)$$

$$Q = 126,03 \times 2198 \times (92,8 - 67,8) = 6936338,5 \text{ J/s}$$

$Q = 6936338,5 \text{ J/s}$

Chapitre IV : Calcul thermique (Préchauffeur P30-GA-21-01 A/B)

○ **Calcul de la résistance d'encrassement [8] :**

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

○ **calcul de coefficient de transfert sale [8] :**

$$A = 851 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{Q}{(U_s * \Delta TLM_c)} \quad \text{et} \quad U_s = \frac{Q}{A \Delta TLM_c} \quad U_s = 163,80 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad \dots \text{ (IV.14)}$$

$$R_d = \frac{U_p - U_s}{U_p U_s} = 0,00412 \text{ (m}^2 \text{ k/w)} \quad \dots \text{ (IV.15)}$$

○ **Calcul des pertes de charge [8]:**

a) Coté tube

$$\Delta P_t = \frac{N_t \times N_c \times G_t^2}{1,271 \times 10^{12} \times d_b} \left[\frac{f_t \times L}{d_b \times \phi_t} + 2 \right] \quad \dots \text{ (IV.16)}$$

N_c : nombre de passes coté calandre 2

n_t : nombre de passes coté tube 4

G_t : 890,14 m/s

$d_4^{15} = 0,778$.

L : 6,096 m

ϕ_t : 0,99959846

F_t : Coefficient de friction

$$F_t = 0,00280 + 0,250 \text{ Re}^{-0,32} \quad \dots \text{ (IV.17)}$$

$$\text{Re} = 15985,3336 \quad F_t = 0,00280 + 0,250 (15985,3336)^{-0,32} = 0,014$$

$$\Delta P_t = \frac{4 \times 2 \times 890,14^2}{1,271 \times 10^{12} \times 0,7993} \left[\frac{0,014 \times 6,096}{0,7993 \times 0,99959846} + 2 \right] = 1,352417 \cdot 10^{-5} \text{ Pascal}$$

= 1,35 bar

b) Coté calandre

$$\Delta P_c = \frac{N_c \times f_c \times G_t'^2 \times (N_b + 1) \times D_i}{1,271 \times 10^{12} \times d_c \times D_e \times \Phi_c} \dots (IV.18)$$

$$F_t = 0,00280 + 0,250 \text{ Re}^{-0,32} \qquad D_e = \left(\frac{4 \times P^2}{\pi \times d_o} \right) - d_o$$

$$\text{Re} = 20347,0262 \qquad F_t = 0,00280 + 0,250 (20347,0262)^{-0,32} = \mathbf{0,013}$$

$$\Delta P_c = \frac{2 \times 0,013 \times 880,85^2 \times (6 + 1) \times 1}{1,271 \times 10^{12} \times 0,8019 \times 0,025 \times 1,00035497}$$

$$\Delta P_c = 5,54 \cdot 10^{-6} \text{ Pascal} = \mathbf{0,55 \text{ bar}}$$

○ **Calcul l'efficacité de préchauffeur [8] :**

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

Cas design :

$$\epsilon = Q / Q_{\max} = (t_2 - t_1) / (T_1 - t_1) \dots (IV.19)$$

$$T_1 = 160 \text{ c}^\circ, t_1 = 68,1 \text{ c}^\circ, t_2 = 114 \text{ c}^\circ$$

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

T_1 entré calandre, t_2 sortie coté tube, t_1 entré coté tube

Cas actuel :

1^{er} cas après la révision

$$\epsilon = Q / Q_{\max} = (t_2 - t_1) / (T_1 - t_1) \quad T_1 = 148,44 \text{ c}^\circ, \quad t_1 = 67,8 \text{ c}^\circ, \quad t_2 = 92,8 \text{ c}^\circ$$

$\epsilon = Q / Q_{\max} = (92,8 - 67,8) / (148,44 - 67,8) = 31 \%$

2^{eme} cas avant la révision

$$\epsilon = Q / Q_{\max} = (t_2 - t_1) / (T_1 - t_1) \quad T_1 = 133,52 \text{ c}^\circ, \quad t_1 = 70,33 \text{ c}^\circ, \quad t_2 = 89,12 \text{ c}^\circ.$$

$\epsilon = Q / Q_{\max} = (89,12 - 70,33) / (133,52 - 70,33) = 29 \%$
--

On remarque qu'il ya un écart important entre l'efficacité cas design et cas actuel, cela se justifie par l'encrassement.

- **Comparaison entre la marche actuelle et la marche de design :**

Tableau IV.5 comparaison entre la marche actuelle et la marche de design.

	Cas design	Cas actuel
Débit de brut stabilisé (kg/h)	539081 ,1	498247,1
T_1 d'entrée (c°)	160	148,44
T_2 de sortie (c°)	119,8	126,23
ΔT_{lm} corrigé (c°)	46,1	49,76
ΔP (bar)	0 ,9	0,55
ϵ l'efficacité (%)	50	31
Débit de brut non stabilisé (kg/h)	455041,8	397497,082
t_1 entrée (c°)	68 ,1	67,8
t_2 sortie (c°)	114,1	92,8

Chapitre IV : Calcul thermique (Préchauffeur P30-GA-21-01 A/B)

V (m/s)	1,8	1,2
ΔP (bar)	0,9	1,35
Us (w/m ² k)		163,80
Up (w /m ² k)	380	505,70
Rd (m ² k /w)	0,00035	0,00412

IV.5) Résultats et interprétation :

- **Suivi des performances thermiques de l'échangeur dans le temps :**

La même méthode décrite précédemment sera utilisée pour le calcul des performances thermiques de l'échangeur en exploitant les paramètres de marche enregistrée avant et après l'entretien, pour voir l'influence de l'encrassement sur les performances de Préchauffeur P30-GA-21-01 A/B.

1. Résultats du monitoring pour le Mois de février avant révision :

Tableau IV.6 : Résultats du monitoring pour le Mois de février. [1]

Jours	Te (°C)	Ts (°C)	Q (m3/h)	d _r ¹⁵	te (°C)	ts (°C)	Q (m3/h)	d _r ¹⁵	ΔTML_c	Us(w/m2.k)	Up(W/m2k)	Rd(m2K/w)
01/02/2016	132,780	117,770	415,210	0,7947	70,620	87,790	320,630	0,7729	54,582	139,91545	407,062215	0,00469055
02/02/2016	134,250	116,240	415,290	0,7951	70,800	89,710	329,130	0,7740	54,799	144,877529	414,771836	0,00449142
03/02/2016	134,430	116,840	478,600	0,7954	70,380	89,760	352,010	0,7728	54,390	154,787895	406,912649	0,00400292
04/02/2016	137,360	118,020	384,420	0,7972	70,050	91,380	280,880	0,7740	54,219	124,090411	389,693122	0,00549252
05/02/2016	134,980	117,140	405,510	0,7954	71,200	90,420	323,670	0,7715	54,931	142,253694	395,655546	0,00450224
06/02/2016	135,530	118,060	444,630	0,7955	73,330	91,910	330,870	0,7715	56,574	145,591458	402,551009	0,00438438
07/02/2016	134,980	116,240	463,040	0,7964	72,850	92,140	336,480	0,7790	56,750	149,868144	409,101787	0,00422815
08/02/2016	151,470	123,530	523,280	0,7981	73,250	100,470	428,230	0,7790	57,062	191,474651	347,207977	0,00234251
09/02/2016	141,760	117,950	496,160	0,7947	71,440	97,440	373,660	0,7785	55,616	168,999665	300,344133	0,00258766
10/02/2016	132,780	115,410	556,380	0,7963	72,510	90,930	425,890	0,7782	56,427	189,444803	340,257042	0,00233963
11/02/2016	137,550	118,550	532,360	0,7972	71,600	92,630	417,390	0,7779	55,698	185,238476	384,644244	0,00279864
12/02/2016	137,180	118,550	591,520	0,7977	72,240	91,930	444,300	0,7775	56,167	196,315869	389,348101	0,00252544
13/02/2016	135,530	118,840	597,230	0,7977	73,730	92,880	452,770	0,7779	57,355	200,94383	402,046192	0,00248924
14/02/2016	137,550	120,780	559,580	0,7974	73,640	92,760	412,720	0,7775	57,255	181,919224	389,124714	0,00292708
15/02/2016	134,980	118,000	522,330	0,7970	72,760	92,720	405,760	0,7764	56,491	180,451599	404,775142	0,00307114
16/02/2016	133,520	118,180	511,200	0,7971	72,610	90,870	375,870	0,7780	56,491	166,42016	402,356876	0,00352353
17/02/2016	134,070	114,300	510,610	0,7973	74,140	91,410	409,270	0,7730	57,310	181,275328	382,742872	0,00290375
18/02/2016	137,550	120,180	417,460	0,7960	75,430	94,260	341,070	0,7745	58,421	150,835107	423,442352	0,00426816
19/02/2016	134,250	118,350	464,540	0,7961	74,270	92,050	339,140	0,7741	57,492	149,795833	426,215704	0,00432952
20/02/2016	137,910	119,900	468,640	0,7978	74,320	93,570	349,760	0,7752	57,613	154,310239	441,693335	0,00421644
21/02/2016	135,160	120,330	509,050	0,7978	74,930	91,560	389,060	0,7747	58,048	170,28785	385,236854	0,0032766
22/02/2016	136,080	120,740	502,420	0,7965	74,310	91,020	373,210	0,7735	57,479	162,85454	385,343222	0,00354536
23/02/2016	139,010	120,660	538,430	0,7982	74,440	94,180	412,720	0,7745	57,654	181,983623	361,429454	0,00272821
24/02/2016	138,830	120,790	600,370	0,7969	74,450	93,760	483,760	0,7763	57,796	213,463619	382,649099	0,00207128
25/02/2016	134,430	118,230	591,760	0,7977	74,670	91,830	434,650	0,7751	57,877	191,484914	404,865167	0,00275239
26/02/2016	130,220	117,830	617,940	0,7985	75,500	88,670	459,610	0,7763	58,611	201,028688	405,11235	0,00250596
27/02/2016	132,600	117,420	533,560	0,7980	72,650	90,740	355,940	0,7751	56,311	157,339021	409,449958	0,0039134
28/02/2016	134,980	119,070	573,760	0,7969	73,400	91,320	405,840	0,7763	56,980	178,701921	389,792069	0,00303044
29/02/2016	135,900	119,540	521,290	0,7969	73,340	92,190	353,210	0,7778	57,044	156,061046	378,85671	0,00376823

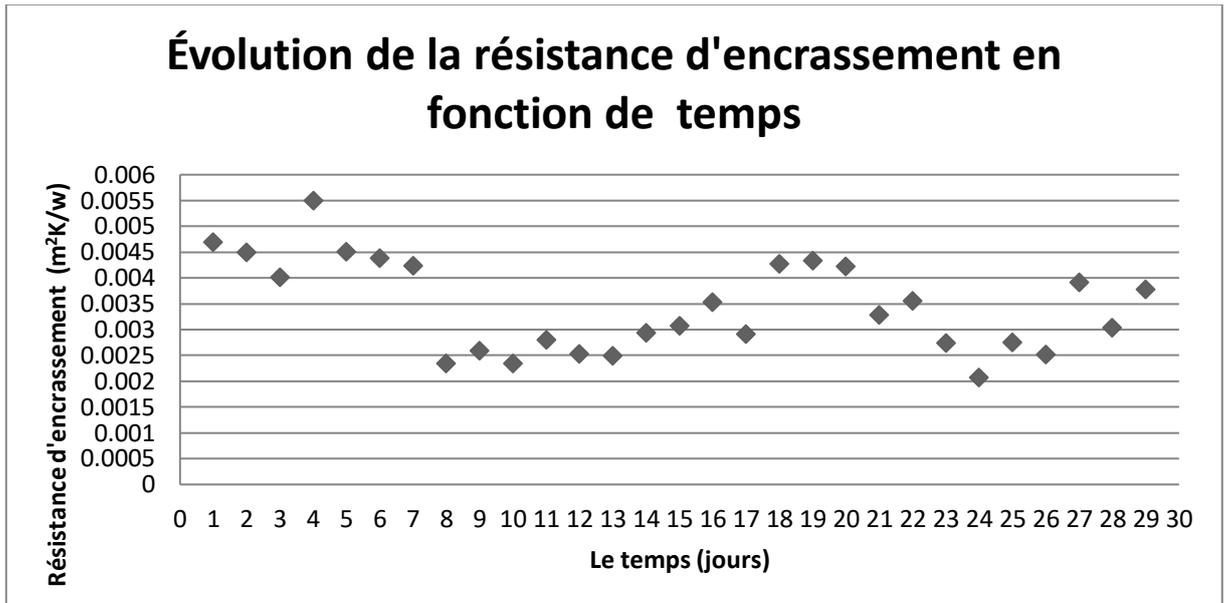


Figure IV.2 : évolution de la résistance d'encrassement dans le temps (mois de février).

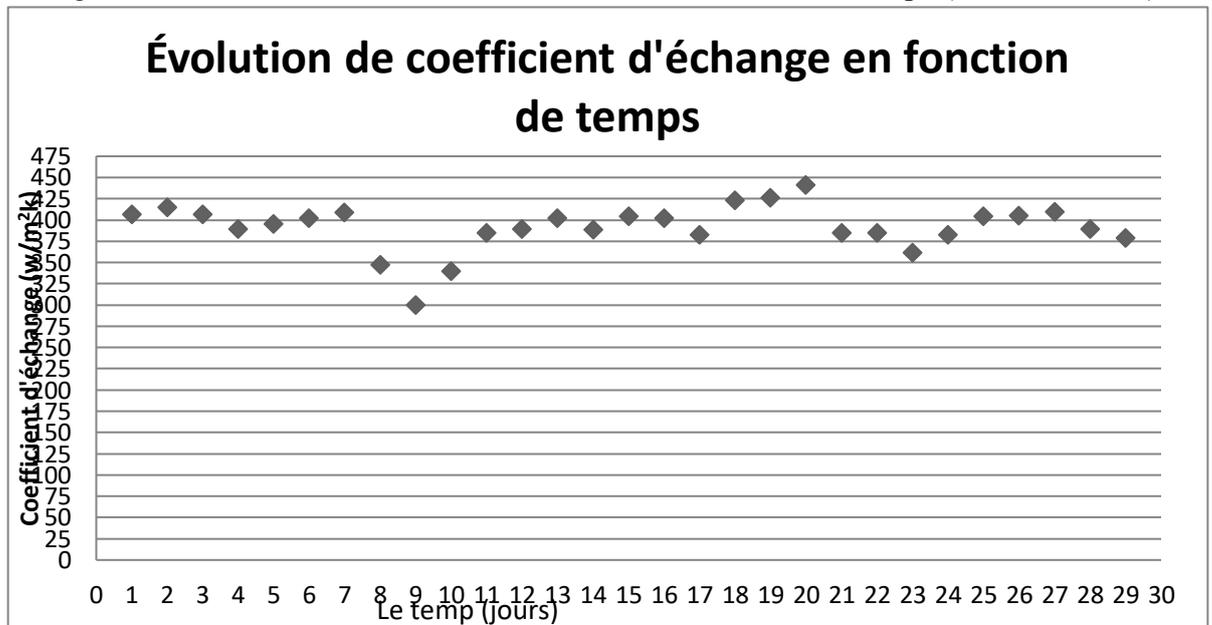


Figure IV.3 : évolution de coefficient d'échange dans le temps (mois de février)

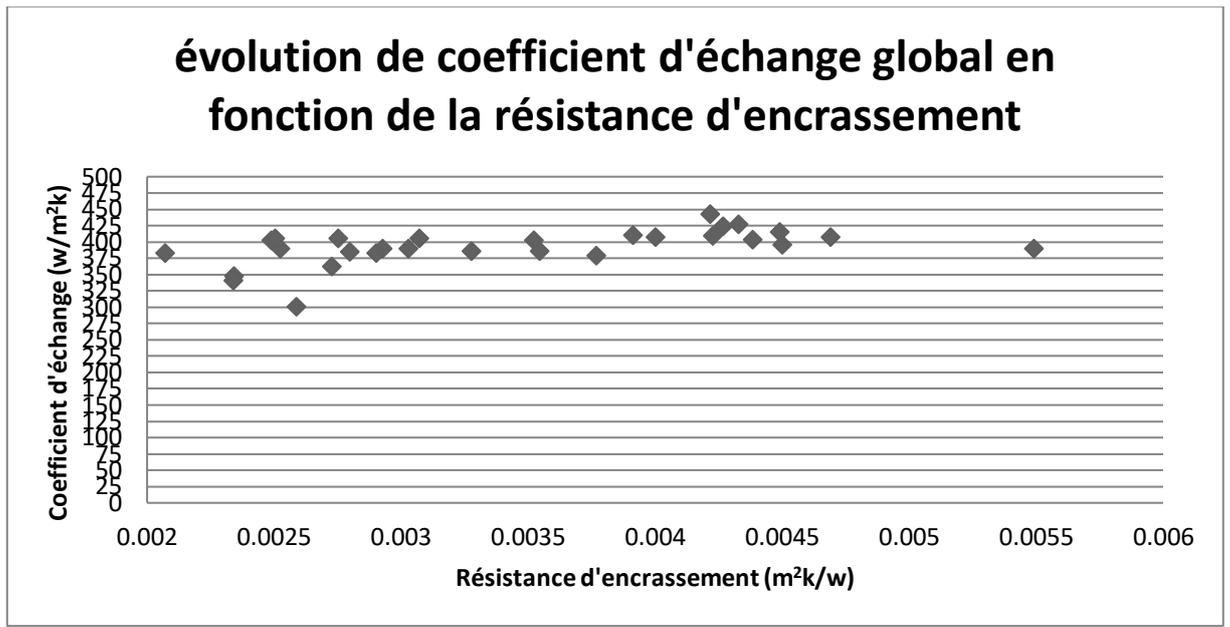


Figure IV.4 : évolution de coefficient d'échange en fonction de la résistance d'encrassement

2. Résultats du monitoring pour le Mois d'aout après révision :

Tableau IV.7 : Résultats du monitoring pour le Mois d'aout. [1]

Jours	Te (°C)	Ts (°C)	Q (m3/h)	d _s ¹⁵	te (°C)	ts (°C)	Q (m3/h)	d _s ¹⁵	ΔT _{M.C.}	U _A (w/m2.k)	UP(W/m2k)	R _d (m2K/w)
01/08/2016	143,220	121,360	620,070	0,8019	67,800	92,880	560,870	0,7993	50,8947	251,9935	371,14498	0,001274
02/08/2016	148,990	123,890	559,150	0,8024	67,070	96,350	485,250	0,7983	53,6093	219,1323	332,11915	0,0015525
03/08/2016	147,340	125,500	602,980	0,8023	69,420	94,830	533,680	0,7989	53,1899	238,3366	349,13558	0,0013315
04/08/2016	148,720	124,550	544,850	0,8018	68,020	96,480	489,830	0,7991	53,2697	220,9686	336,30646	0,0015521
05/08/2016	152,840	125,670	532,610	0,8035	74,320	100,570	465,180	0,7995	50,7725	210,0952	306,89515	0,0015013
06/08/2016	150,180	127,540	616,300	0,8024	70,020	96,400	551,290	0,7992	54,5165	246,0832	363,82563	0,0013151
07/08/2016	150,730	127,250	536,800	0,8025	74,210	99,570	495,340	0,7987	51,0525	222,7195	333,48892	0,0014914
08/08/2016	151,830	128,570	581,100	0,8018	75,950	100,910	523,120	0,7982	50,7300	235,0820	341,87907	0,0013288
09/08/2016	146,700	125,090	512,950	0,8018	74,870	99,010	462,960	0,7983	47,9652	209,2443	314,56082	0,0016001
10/08/2016	150,270	126,990	567,780	0,8028	74,120	100,070	484,580	0,7992	50,4930	218,7719	333,50483	0,0015725
11/08/2016	145,330	125,640	576,780	0,8013	75,140	97,300	525,030	0,7987	48,2696	235,5438	342,45241	0,0013254
12/08/2016	145,600	123,690	550,840	0,8022	69,300	94,450	500,150	0,7986	51,6983	224,1387	336,50052	0,0014898
13/08/2016	147,800	128,550	572,520	0,8018	75,910	98,290	524,170	0,7950	49,5272	233,8193	342,29727	0,0013554
14/08/2016	148,350	128,390	659,530	0,8032	74,930	98,080	604,900	0,7967	50,2932	270,2051	391,36514	0,0011457
15/08/2016	152,470	128,550	499,380	0,8013	74,320	100,010	543,160	0,7964	52,2733	243,1813	334,48256	0,0011225
16/08/2016	155,490	128,920	473,840	0,8036	74,230	102,800	438,670	0,7962	52,6101	198,0854	298,92337	0,001703
17/08/2016	150,820	126,680	533,140	0,8030	73,960	100,670	479,900	0,7963	50,3958	216,8310	320,69084	0,0014936
18/08/2016	148,350	125,580	524,180	0,8022	73,630	99,200	468,730	0,7971	49,5263	211,6489	327,36914	0,0016702
19/08/2016	151,370	127,320	558,470	0,8022	73,810	100,960	508,790	0,7982	50,9057	230,1728	337,79734	0,0013842
20/08/2016	152,750	130,050	505,840	0,8026	74,120	100,960	461,230	0,7983	52,7568	207,2757	324,65534	0,0017443
21/08/2016	153,850	128,470	506,920	0,8026	73,790	102,260	426,190	0,8003	52,0576	193,2682	302,88541	0,0018726
22/08/2016	150,000	127,490	575,590	0,8024	73,800	99,110	452,790	0,8006	51,2320	203,7064	333,51193	0,0019106
23/08/2016	145,680	126,050	605,610	0,8024	73,780	97,600	511,950	0,8002	49,1429	230,5732	354,87738	0,0015191
24/08/2016	148,630	126,930	537,760	0,8010	75,380	99,720	438,340	0,7996	49,2141	197,6773	311,6677	0,0018502
25/08/2016	146,150	126,430	579,230	0,8008	74,300	97,550	476,820	0,7990	49,3375	214,0329	333,85439	0,0016769
26/08/2016	149,450	127,280	524,270	0,8016	74,440	99,680	471,450	0,8003	49,7510	212,9925	327,09616	0,0016378
27/08/2016	148,630	126,590	542,880	0,8018	69,190	96,470	430,420	0,8014	53,6434	193,5133	311,08252	0,001953
28/08/2016	148,350	124,450	535,030	0,8020	68,910	95,870	474,740	0,8010	52,9156	213,6167	334,06721	0,0016879
29/08/2016	151,370	126,220	519,860	0,8026	69,490	97,870	406,820	0,8014	53,9972	183,3919	299,43557	0,0021132
30/08/2016	153,850	128,150	494,970	0,8025	69,000	99,540	440,200	0,8012	54,9947	199,2386	301,22518	0,0016993

La meilleure façon pour analyser et interpréter nos résultats obtenus est de les représenter graphiquement.

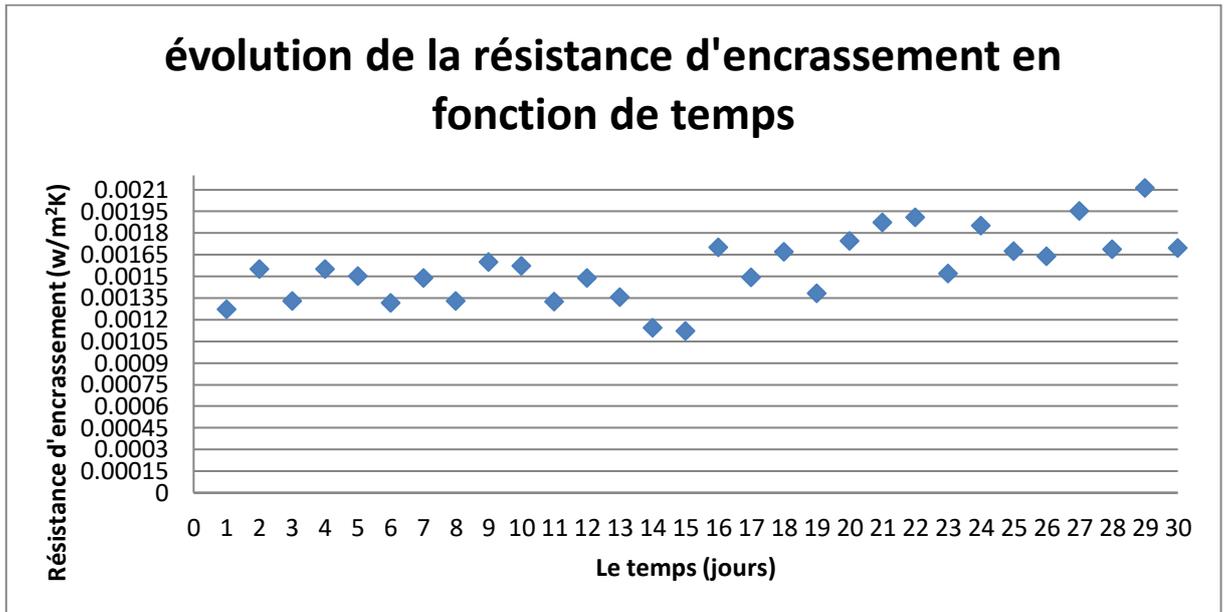


Figure IV.5 : évolution de la résistance d'encrassement dans le temps (mois d'Aout)

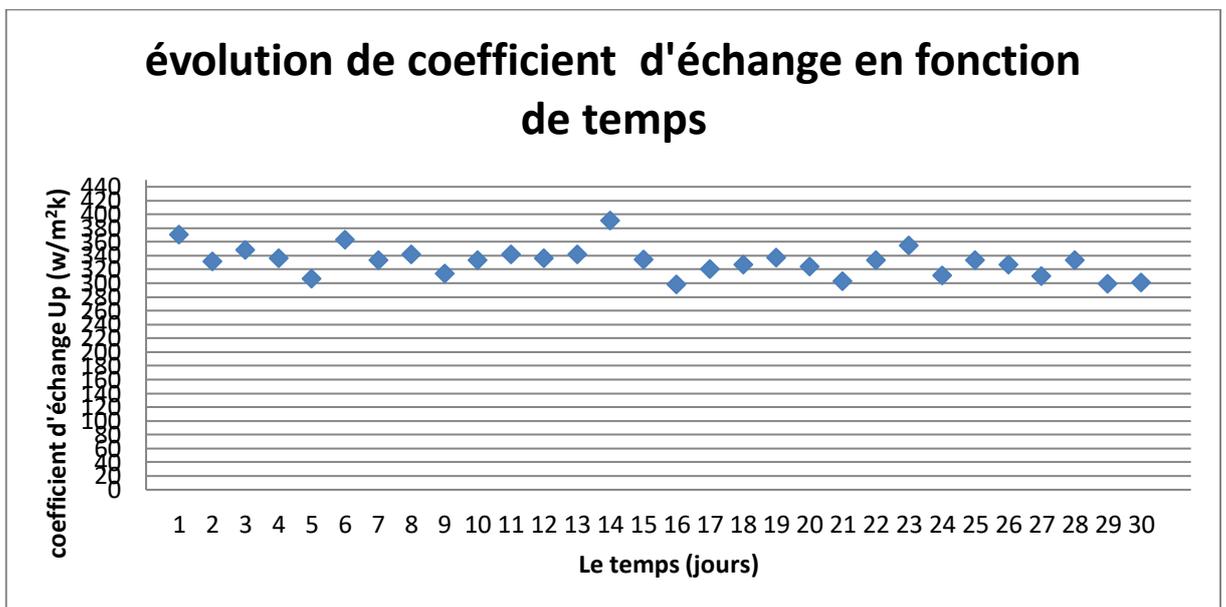


Figure IV.6 : évolution de coefficient d'échange dans le temps (mois d'Aout)

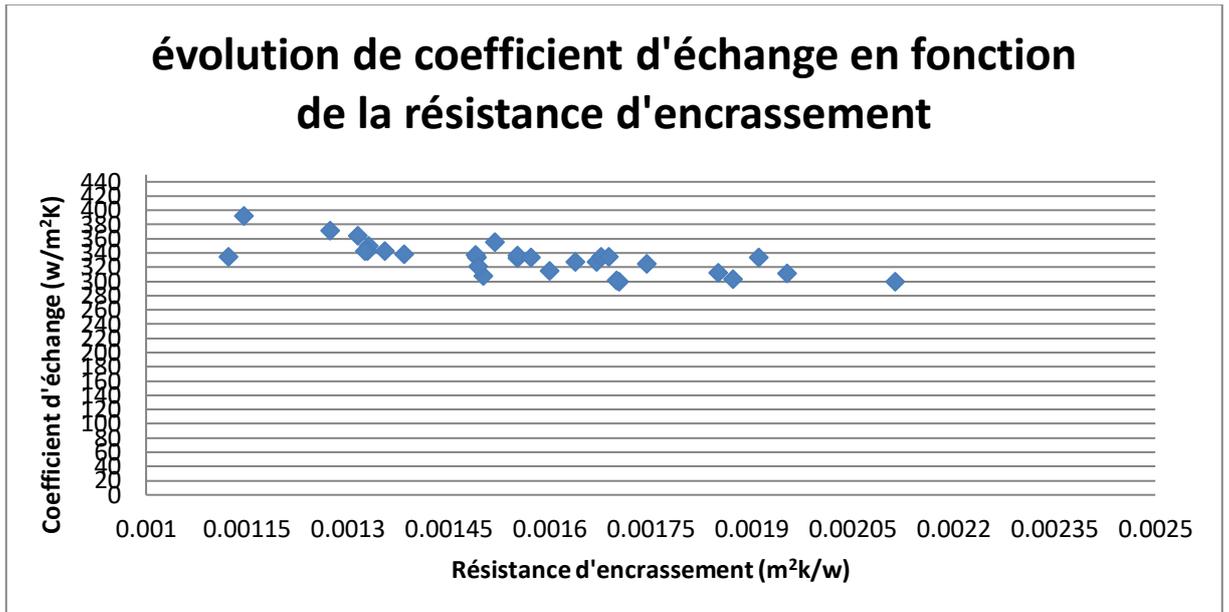


Figure IV.7 : évolution de coefficient d'échange en fonction de la résistance d'encrassement (mois d'Aout)

- **Interprétation des résultats :**

La valeur de la résistance d'encrassement R_d oscille entre 0,003 et 0,006 m^2k/w (Figure IV.2) .

L'augmentation de la valeur de la résistance avant la révision s'explique par la présence importante des dépôts sur les surfaces d'échanges coté tubes jusqu'à une valeur pratiquement stable, la fluctuation de R_d est due à la variation des paramètres du process entre autre débit et température au niveau de la batterie de préchauffeur.

L'évolution de la résistance d'encrassement en fonction du temps suit une allure linéaire, la valeur de la résistance d'encrassement R_d après la révision oscille entre 0,001 et 0,0022 $m^2 k^\circ /w$ (figure IV.5).

La diminution de R_d est due au nettoyage des tubes de la batterie de préchauffeur.

D'après la (figure IV.5), nous remarquons que la résistance d'encrassement en fonction de temps n'est pas constante, elle est supérieure à celle de design, sachant que le débit est faible par rapport au design.

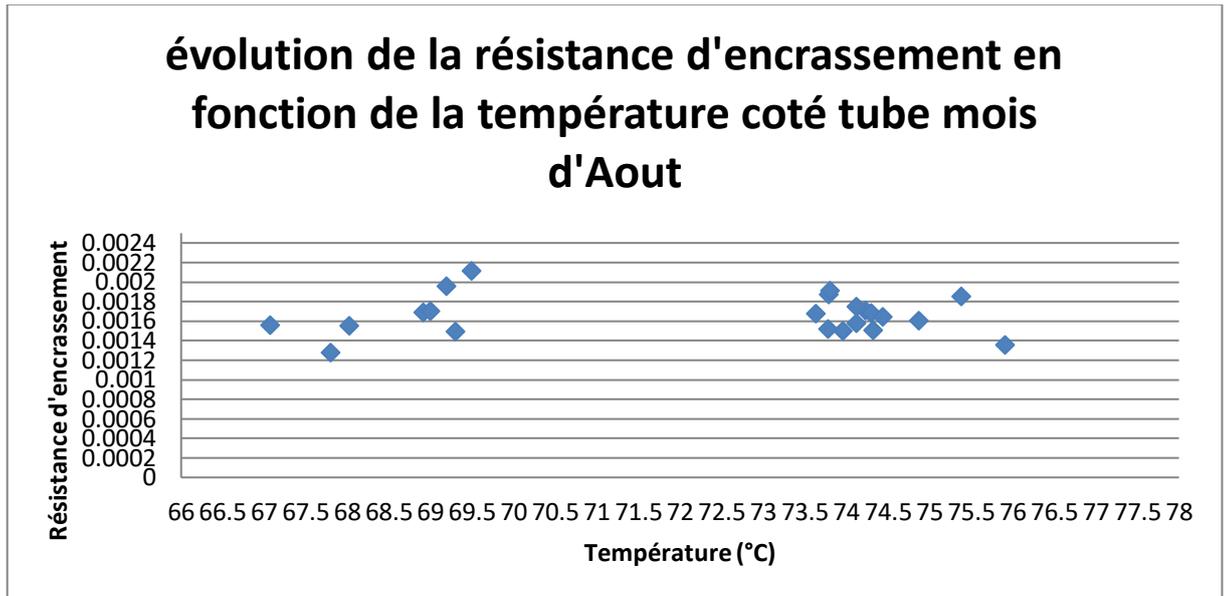


Figure IV.8 : évolution d'encrassement en fonction de la température coté tube (mois d'Aout)

La figure IV.8) représente l'évolution de la résistance d'encrassement en fonction de la température de brut non stabilisé coté tube qui est une courbe non linéaire donc on conclut que l'augmentation de la température du fluide au dessus de 68°C valeur design, favorise l'élévation de la résistance d'encrassement et par conséquent la formation du dépôt sur les parois des tubes .

- **L'évolution de la vitesse de circulation**

Vitesse de circulation = le débit massique / masse volumique = G/ρ

a. Après la révision 2016

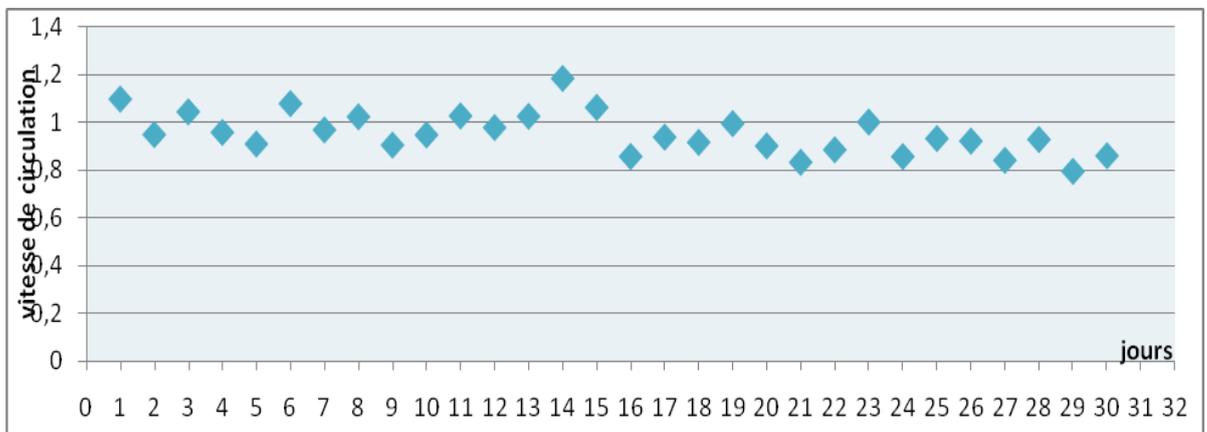


Figure IV.9: L'évolution de la vitesse de circulation en fonction de temps après révision

La valeur de la vitesse de circulation oscille entre 0,8 et 1,2 m/s est plus proche de la valeur design (1.8 m/s).

La Figure IV.9) représente l'évolution de la vitesse de la circulation de fluide froid coté tubes en fonction de temps durant le mois d'aout, où les tubes sont propres.

b. Avant la révision 2016

La figure suivante présente l'évolution de la vitesse de circulation en fonction de temps durant le mois de février avant la révision (les tubes sont sales).

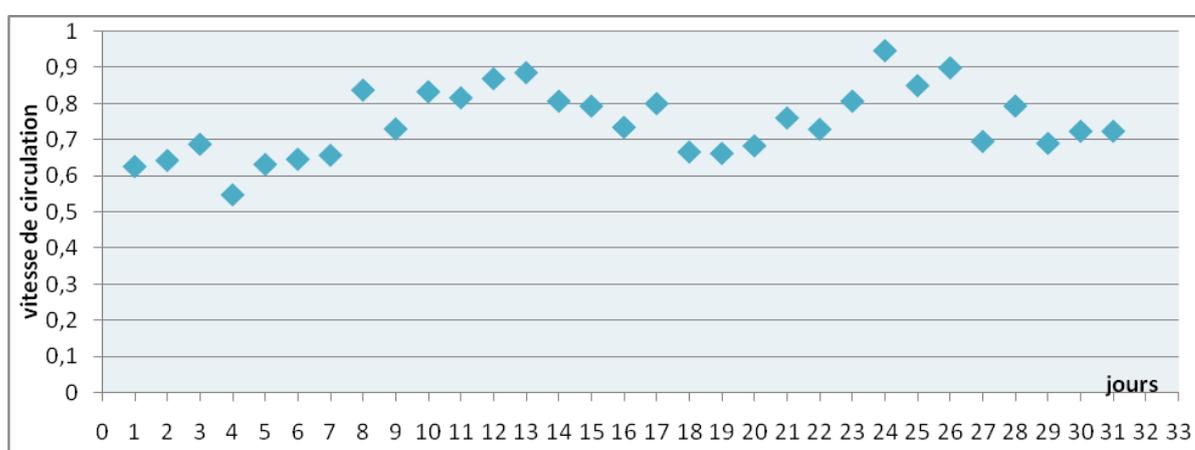


Figure IV.10) : L'évolution de la vitesse de circulation en fonction de temps avant révision .

La valeur de la vitesse de circulation oscille est entre 0,5 et 0,9 m/ s.

D'après la figure IV.10), la vitesse de circulation de brut non stabilisé coté tube n'est pas constante, elle est inférieure à celle de design (1,8m/s) à cause de l'encrassement et au faible débit de brut non stabilisé. (By-pass ouvert coté tube).

Conclusion :

D'après les résultats de calculs de vérification thermique et dynamique qu'on a réalisée, on a pu voir l'évolution de la résistance d'encrassement, qui entraine une diminution remarquable du coefficient de transfert résultant un mal fonctionnement de l'échangeur, pour cela le service maintenance a recouru au nettoyage de l'échangeur et le changement des tubes. Les calculs nous ont permis aussi d'évaluer la résistance d'encrassement, le coefficient de transfert et les pertes de charge après le nettoyage. Les résultats obtenus sont positifs ce qui montre l'efficacité de l'entretien effectué.

Conclusión

Conclusion générale :

L'objectif de ce travail est d'étudier le comportement thermique de deux écoulements dans un échangeur de chaleur dans le cas actuel d'un échangeur faisceau et calandre (Préchauffeur P30-GA-21-01 A/B) et le cas design dans la veine d'écoulement des fluides.

Au-delà la cette étude, une attention particulière a été portée sur la batterie des préchauffeurs (A et B) de train 30, les fluides entrants : le brut non stabilisé et le brut stabilisé respectivement (coté faisceau et coté calandre) ont un pouvoir fortement encrassent et posent d'importants défis vis -a -vis de l'efficacité et de la durée de la vie.

Le monitoring des échangeurs de chaleur permet la bonne connaissance de l'évolution des paramètres thermique et dynamique des deux fluides sous les conditions spécifiques au processus .C'est le but de cette étude. La formation des dépôts (encrassement) est une résistance thermique qui provoque des perturbations dans ces paramètres.

L'étude menée sur cet échangeur faisceau-calandre montre que, ce dernier rencontre des problèmes qui se manifestent par la présence des résistances supplémentaires ainsi une augmentation des pertes de charges .ce changement se traduit par l'incapacité d'assurer l'échange thermique d'où la nécessité d'augmenter sa surface d'échange.

Désormais les résultats obtenus montre clairement que la résistance d'encrassement est proportionnelle à l'augmentation de la température de la charge, au-delà de 70 °C, les performances de l'échangeur diminuent (faible efficacité), le débit calculé de la charge est inférieur à celle de design, perte de charge côte tubes est supérieur a celle de design.

Cette étude permet d'optimiser les paramètres de marche actuelle et l'on comparés avec celles de cas design ainsi estimer les différents méthodes possibles pour éliminer l'encrassement des tubes pour améliorer le rendement d'échangeur de chaleur.

Une étude complémentaire autrement dit analyse qualitatif des dépôts est plus que nécessaire pour mieux comprendre et maîtriser le phénomène d'encrassement.

Recommandations :

Cette étude nous a permis de déceler le mauvais fonctionnement des préchauffeurs, pour palier à cette situation il nous faut

- Suivre l'évolution de l'encrassement depuis son apparition en établissant un programme d'entretien.
- Effectuer un nettoyage mécanique et chimique, par du personnel qualifié
- Suivre les paramètres de marche thermiques et dynamiques d'entrée.
- Analyser les dépôts prélevés à chaque nettoyage pour déterminer les causes exactes de sa formation, et programmer le type de nettoyage adéquat.
- Placer des filtres adéquats en amont des préchauffeurs.

[1] : **Documentations au niveau de l'UTBS** manuel opératoire d'exploitation, description de l'unité.

[2]: **P.WUITHIER**. Raffinage et génie chimique, (tome I) 1987.

[3] : **BENAYAD NADA** Etude et optimisation des échangeurs de chaleur.These magister en physique énergétique (université Mentouri Canstantine 2008).

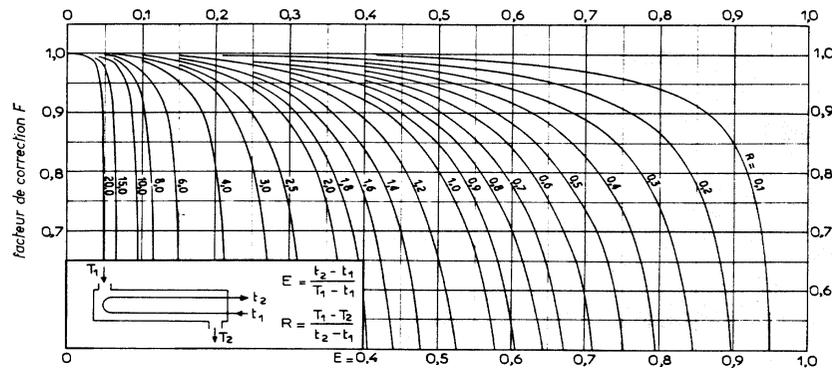
[4] : **ANDRE BONTEMPS** « ECHANGEUR DE CHALEUR » Université Joseph Fourier, Institut universitaire de Technologie, Département Génie thermique et Énergie (Grenoble)

[5] : **Amine ALI NEHARI** Étude thermo-énergétique d'un échangeur de chaleur à plaques et joints : Application aux fluides géothermiques. Thèse master en physique énergétique et matériaux (université Abou Bekr Belkaid Tlemcen 2011).

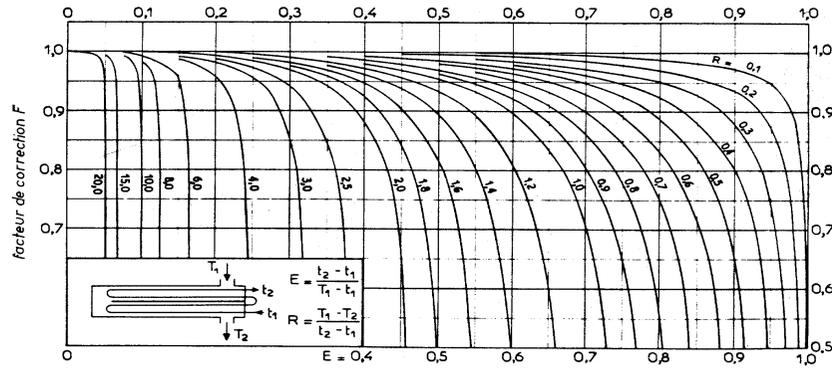
[6] : **Dr. A. ZIOUCHI** Echangeurs de Chaleur (UFR Maintenance Industrielle).

[7] : **Mr : M. Silini** Appareils statiques SH/IAP SKIKDA (séminaire 2009).

[8]: **BENABDELHALIM Houssine et FEGAS Abderrazak** CALCUL THERMIQUE ET MECANIQUE DE L'ECHANGEUR DE CHALEUR EA4501. **Mémoire de Master** en Mécanique des unités pétrochimiques (université M'Hamed Bougara Boumerdes 2017).



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



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

Graphe N° 1

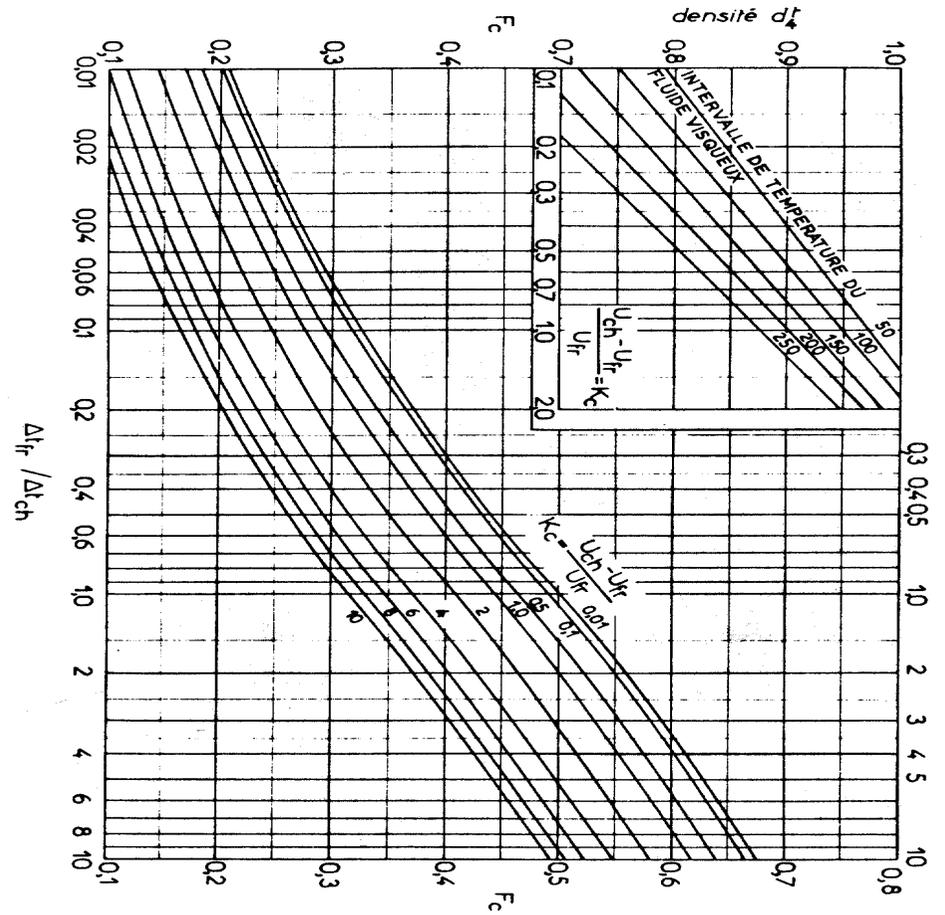
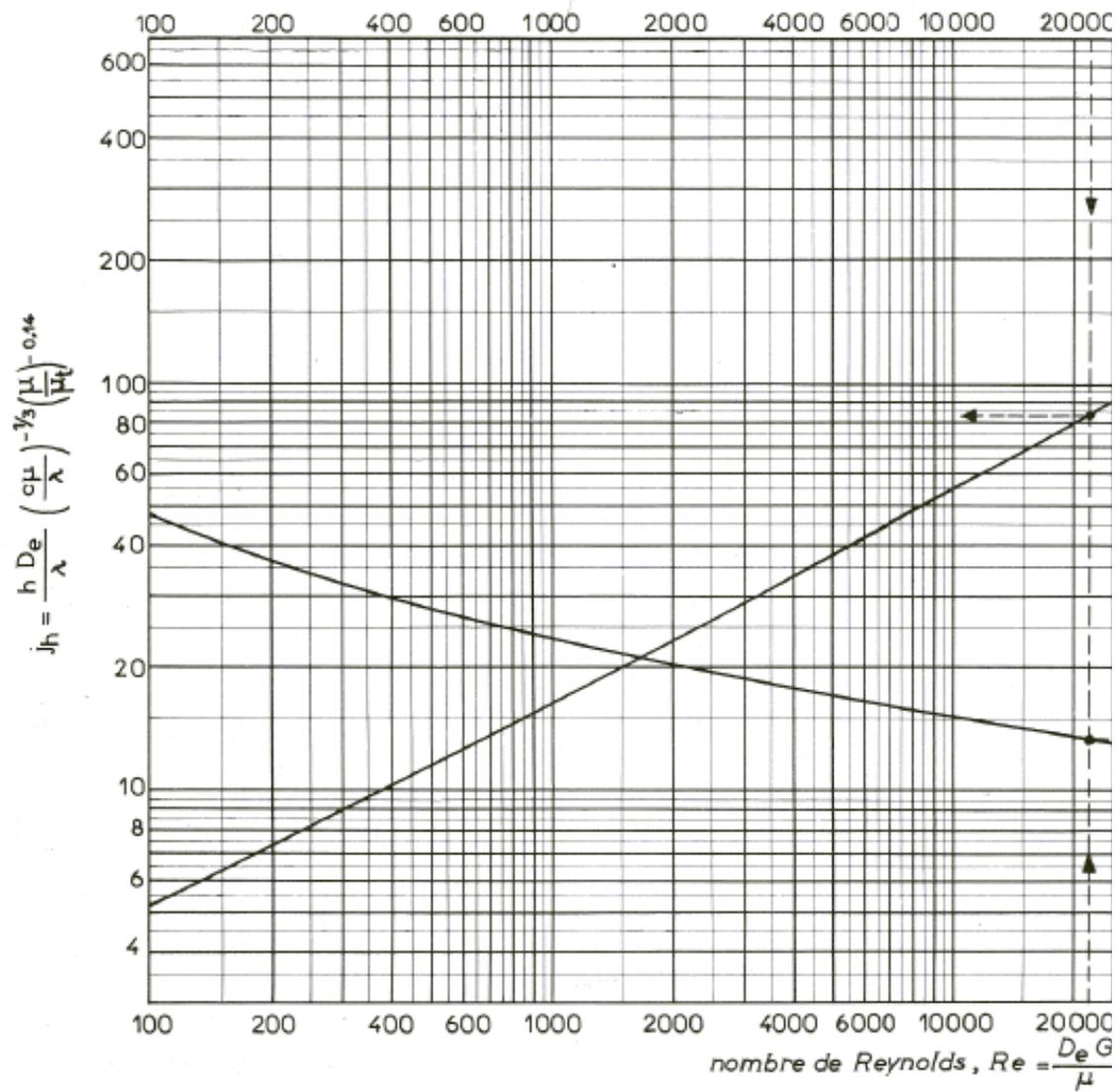
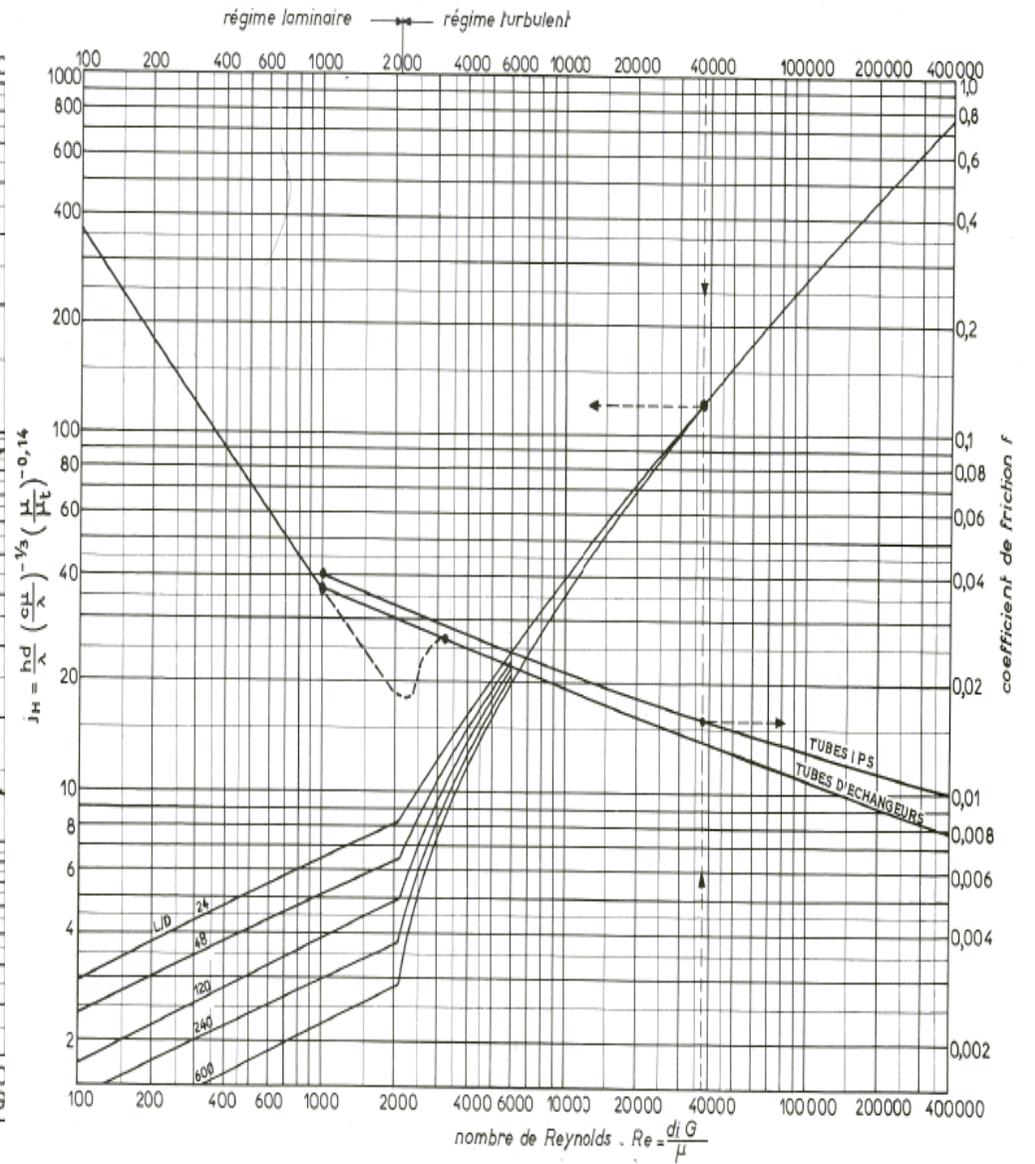


Fig. V1.28. ... Détermination des températures calorifiques.

Graphe N°2



Graphe N°3



Graphe N°4

ملخص :

في الشركات البترولية مبادل الحرارة هو عنصر اساسي لحسن استعمال الطاقة , و اهم المشاكل تتعلق بدراسة ابعاد هذا المبادل و التي تنقص بسبب انسداد الانابيب. لهذا الغرض هذا العمل سيدرس عدديا السلوك الحراري لتدفق مائعين لتحسين اداء هذا المبادل في حالة مبادل حراري لمجموعة انابيب. و مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها بين حالة التصميم و الحالية (بعد المراجعة) و ذلك للحصول على الفرق بين الحالتين , و لرؤية تحسن الاداء في المبادلات الحرارية .

كلمات . حالة التصميم , الحالة الحالية , مجموعة انابيب , تدفق, انسداد, ابعاد , مبادل الحرارة

مفتاحيه :

Abstract :

In the oil companies the heat exchanger is an essential element for the control of energy, the problems related to thermohydraulics concern first of all the thermal dimensioning reduced because of clogging of the tubes. For this purpose, this work will numerically study the thermal behavior of a flow of two fluids to improve the performance of these equipments in the case of a tube bundle heat exchanger, and comparison of the results obtained between the design case and the current case (after revision), to have the difference between these two cases, and to see the clear improvement in performance in the heat exchangers.

Key words : Heat exchanger, thermal dimensioning, clogging, flow, tube bundle, design case, current case.

Résumé :

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

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