



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY

جامعة بادجي مختار – عنابة

Faculté : Technologie
Département : Génie des procédés
Domaine : sciences et technologies
Filière : Industries Pétrochimiques
Spécialité : Génie Pétrochimie

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

**Etude de la faisabilité substitution du train d'échange E1-A/D
de l'unité de reformage catalytique U-100 de la raffinerie de
Skikda RA1K par un échangeur à plaque**

Présentées par :

Benamara Khadidja El Batoul

Bourai Oussama

GUILANE Sarrah	MC B	Université	Président
BENDEBANE Salima	MC A	ENSTI-Annaba	Encadrant
KADRI	Pr.	Université	Examineur 1
LARABA Rima	MC B	Université	Examineur 2

Année universitaire : 2023/2024

REMERCIEMENTS

Avant tous, Nous remercions en premier lieu notre Dieu qui nous a donné le courage et la patience pour réaliser ce travail.

Je voudrais tout d'abord exprimer un très chaleureux remerciement à : Dr BENDEBANE, mon encadreuse, qui m'a guidé et suivi tout au long de ce travail. Ses critiques fructueuses ont été pour moi, une source d'enrichissement. Sa aide et sa disponibilité m'a permis d'avancer dans le travail et de finaliser cette étude.

J'adresse également mes vifs remerciements à :

Dr GUILANE qui m'a fait l'honneur de présider ce jury

Pr KADRI et Dr. LARBA Qui a accepté de faire partie du jury et d'examiner ce travail.

Mes vifs remerciements s'adressent au corps des enseignants du département, pour le soutien et les conseils avisés qu'ils ont su me donner tout au long de ma formation de master.

Merci à mes chers parents, ma famille et à tous mes proches pour leur patience et soutien de tous les jours.

A mes collègues et camarades de la promotion 2023/2024, qui m'ont accordé une partie de leur temps précieux lors de la préparation de ce mémoire.

A tous ceux que je n'ai pas pu citer, qu'ils m'accordent toute leur indulgence.

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma gratitude et mes sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce mémoire.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail : A mes très chers parents, que dieu les garde et les protège pour leurs soutien moral et financier, pour leurs encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés.

A ma famille notamment

Ma mère et mon père

Ma sœur Asmaa et Mon Frère Ahmed

A mes amis :

Mouna , Roumaïssa , Sirine , Besma

A tous les amis (es) d'études surtout ceux de ma promotion

Génie des pétrochimie

Dédicace

Je dédie ce modeste travail : A mes très chers parents, que dieu les garde et les protège pour leurs soutien moral et financier, pour leurs encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés.

A ma famille notamment

Ma mère et mon père

Mes Frères Ahmed Yacine et Abd El Wahab

Mes sœurs Nour El Houda et Asma

Et Mon oncle Aziz et Ma grand mère

A mes amis :

Abd el djebar , Ayoub , Rami , Haithem , Oussama ,

L'ingénieur Ahmed et Mourad Mehri

Résumé

Ce mémoire aborde le remplacement du train de préchauffage (E1 A/D) de la section de prétraitement de l'unité de reformage catalytique U-100 de la raffinerie de Skikda par un échangeur à plaques Cette recherche fait partie de l'objectif d'améliorer l'efficacité énergétique des installations thermiques industrielles. Elle repose sur les expériences pratiques acquises lors de notre stage. À cette fin, toutes les caractéristiques physiques, géométriques, dynamiques et thermiques ont été soigneusement enregistrées. Nous devons également identifier les éventuelles difficultés techniques de fonctionnement de ces machines thermiques afin de proposer des solutions adaptées et de les dimensionner en fonction des besoins des procédés.

Abstract

This study focuses on the replacement of the preheating train (E1 A/D) in the pretreatment section of the U-100 catalytic reforming unit at the Skikda refinery with a plate heat exchanger. This research is part of the objective to improve the energy efficiency of industrial thermal plants. It is based on practical experience gained during our internship. To this end, all physical, geometrical, dynamic and thermal characteristics have been carefully recorded. We also had to identify any technical difficulties in the operation of these thermal machines, in order to propose suitable solutions and size them according to process requirements.

ملخص

تتناول هذه الأطروحة استبدال قطار التسخين المسبق لقسم المعالجة المسبقة في وحدة الإصلاح التحفيزي للوحدة 100 من مصفاة سكيكدة بمبادل لوحي. هذا البحث هو جزء من هدف تحسين كفاءة الطاقة للمنشآت الحرارية الصناعية. يتم إجراؤه بناءً على التجارب التجريبية التي واجهناها خلال فترة التدريب العملي. تم تسجيل جميع الخصائص الفيزيائية والهندسية والديناميكية والحرارية. يجب علينا أيضًا تحديد أي صعوبات فنية في تشغيل هذه الآلات الحرارية من أجل اقتراح حلول مكيّفة وحجمها وفقًا لاحتياجات العمليات.

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale.....12

Chapitre 01 : Présentation de la raffinerie de Skikda (RA1K).....13

1.1. Présentation générale de la raffinerie de Skikda.....13

1.1.1. Situation géographique.....13

1.1.2. Vue historique sur la raffinerie de Skikda.....14

1.1.3. Présentation des différentes unités de production.....14

1.1.3.1 Unités de Distillation Atmosphérique U-10/11.....15

1.1.3.2 Unités de Reforming Catalytique (Magnaforming-Platforming) U-100 et U-103.....15

1.1.3.3 Unités de Traitement et Séparation du GPL U-30/31 et U-104.....15

1.1.3.4 Unité d'Extraction des Aromatiques U-200.....16

1.1.3.5 Unité de Cristallisation du Paraxylène U-400.....16

1.1.3.6 Unité de Production et Conditionnement des Bitumes U-70.....16

1.1.3.7 Centrale Thermoélectrique CTE (les utilités).....17

1.1.3.8 Unité de Stockage, Mélange et Expédition U-600.....17

1.1.3.9 Unité de Purification de L'hydrogène U-900.....17

1.1.3.10 Unité de l'isomérisation U-50017

I.1.4 Le schéma des principaux procédés de la raffinerie de Skikda.....18

1.2 Présentation de l'unité magnaforming U-100.....18

1.2.1 Introduction.....18

1.2.1.1 Section d'hydrotraitement.....19

1.2.1.2 Section Réactionnelle (Magnaforming).....20

1.2.1.3 Section de fractionnement.....22

1.2.1.4 Section d'absorption du gaz net de Magnaforming (100-C-53 et 100-C-3).....23

1.2.2 L'objectif de l'unité.....24

Chapitre 02 : Généralités sur les échangeurs de chaleur

2.1 Introduction.....	25
2.2 C'est quoi un échangeur de chaleur.....	25
2.3 Critères de classement des échangeurs.....	25
2.3.1. Type de contact.....	25
2.3.2 Classement fonctionnel.....	26
2.3.3 Classement technologique.....	26
2.3.4 Classement selon le mode de transfert de chaleur.....	26
2.3.5 Classement selon la compacité de l'échangeur.....	26
2.3.6 Classement selon la nature du matériau de la paroi d'échange	26
2.3.7 Classement selon la disposition des écoulements.....	27
2.4 Différents types d'échangeurs	27
2.4.1 Échangeur monotube.....	27
2.4.2 Échangeur coaxial.....	27
2.4.3 Échangeur multitubulaire.....	28
2.4.4 Échangeur avec un fluide changeant de phase.....	29
2.4.5 Échangeur à plaque	29
2.4.5.1 Échangeurs à surface primaire.....	30
2.4.5.2 Échangeurs à surface secondaire.....	35
2.5 L'encrassement en transfert de chaleur.....	36
2.5.1 Différents types d'encrassement.....	37
2.6 Avantages des échangeurs à plaques par rapport aux échangeurs à tubes et calandre.....	37

Chapitre 03 : Dimensionnement d'un échangeur à plaques.....39

3.1 Introduction	39
3.2 Présentation du problème.....	39
3.3 Logique de la phase de dimensionnement.....	40
3.4 Procédure	42
3.5 Dimensionnement de l'échangeur.....	43
3.6 Résultats et discussion.....	51

Conclusion générale.....59

Liste des figures

Figure 1.1. Situation géographique de la raffinerie de Skikda.....	13
Figure 1.2: Les différentes unités du complexe RA1/K.....	15
Figure 1.3 : Schéma de la Raffinerie de Skikda.....	18
Figure 1.4 : schéma simplifié de procédé de prétraitement de l'unité U-100.....	20
Figure 1.5 : schéma simplifié de la section réactionnelle de l'unité U-100.....	21
Figure 1.6 : Schéma de la section de Fractionnement de l'unité 100 (RA1K).....	22
Figure 1.7: Schéma simplifié de la section absorption U100.....	23
Figure 2.1 Échangeur monotube en serpentins.....	27
Figure 2.2. Echangeur coaxial.....	27
Figure 2.3 Echangeur a tubes séparés.....	28
Figure 2.3 Echangeur a tube rapproches.....	28
Figure 2.4 Echangeur a tube ailettes.....	28
Figure 2.5 Echangeur a tube et calandre.....	29
Figure 2.6 Différentes géométries de plaques d'échangeurs à surface primaire.....	30
Figure 2.7 plaque de type chevron.....	31
Figure 2.8 Échangeur à plaques et joints.....	32
Figure 2.9 Échangeur platulaire et schéma canaux.....	33
Figure 2.10 Échangeur Compabloc et l'empilement des plaques.....	33
Figure 2.11 Echangeur Packinox.....	34
Figure 2.12 Echangeur lamellaire.....	34
Figure 2.13 Echangeur spirale.....	35
Figure 2.14 Echangeur brasé.....	35
Figure 2.15 Echangeur a plaque brasées.....	36
Figure 2.16 Exemple d'un faisceau de tubes d'un échangeur encrassé.....	37
Figure 2.17 comparaison des échangeurs de chaleur à plaques avec échangeurs de chaleur à tube et calandre.....	38
Figure 2.18 Comparaison entre la résistance à l'encrassement de PHE et la résistance à l'encrassement de l'échangeur tube et calandre (côté tube).....	38

Figure 3.1 : Logique de la phase de dimensionnement thermique.....	41
Figure 3.2 : Echangeur à plaques 1-1 passe.....	44
Figure 3.3 : Facteur de correction F_t	45
Figure 3.4 Débit total du train d'échange et l'échangeur a plaque.....	51
Figure 3.5 Température de service du train d'échange et l'échangeur a plaque.....	52
Figure 3.6 Pression de service du train d'échange et l'échangeur a plaque.....	53
Figure 3.7 nombre de passes du train d'échange.....	54
Figure 3.8 La chute de pression admise du train d'échange.....	55
Figure 3.8 la surface d'échange du train d'échange et l'échangeur a plaque.....	56
Figure 3.9 Coefficient global U de train d'échange et échangeur a plaque.....	58

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Matériaux de construction des plaques	31
Tableau 3.1 : Caractéristiques de fluide de circulation.....	43
Tableau 3.2 : Caractéristiques de la plaque sélectionnée.....	45
Tableau 3.3 : Coefficient de transfert global pour les échangeurs à plaques.....	46
Tableau 3.4 : Facteur d'encrassement pour les échangeurs à plaques.....	49

Listes des abréviations

A : Surface total d'échange (m²)

CP : Capacité calorifique (KJ/g.°C)

DTLM : Différence moyenne logarithmique de température(°C)

Ft : Facteur de correction de température(-)

H : Enthalpie thermique (KJ/Kg)

m :Débit massique(Kg/s)

T : température(° C)

Q : La chaleur échangé(j)

μ :Viscosité (Pa.s)

λ :Conductivité thermique (w/m k)

U : Coefficient d'échange global (W/m²°C.)

H : Hauteur (m)

L :Largeur(m)

e :Epaisseur (m)

b :Canal de passage (m)

Sc :Section de canal de passage (m²)

De :Diamètre équivalent (m)

Nc :Nombre des canaux

Np :Nombre de plaques

h :Coefficient de transfert de chaleur par convection (W/m²°C)

Ftc :Coefficient de friction

Vf et Vc :Vitesse massique des fluide froid et chaud dans les canaux (m/kg.s)

Introduction générale

Dans les entreprises, l'échangeur de chaleur joue un rôle crucial dans toute stratégie de gestion de l'énergie. Les échangeurs thermiques sont désormais utilisés dans de multiples domaines. Un échangeur de chaleur est utilisé pour échanger une grande partie de l'énergie thermique utilisée dans les procédés industriels, tant dans les procédés eux-mêmes que dans les systèmes de récupération de l'énergie thermique de ces procédés. Pour une application spécifique, le choix d'un échangeur de chaleur est influencé par divers paramètres tels que la température et la pression des fluides, les caractéristiques physiques et l'agressivité des fluides, ainsi que la maintenance et l'encombrement. Il est clair que l'utilisation d'un échangeur de chaleur approprié, bien dimensionné, bien conçu et bien utilisé permet d'améliorer le rendement et l'efficacité des échangeurs de chaleur [1].

Le phénomène d'encrassement est un problème majeur de fonctionnement rencontré par les utilisateurs d'échangeurs de chaleur, ce qui se manifeste par une diminution des performances de l'équipement et des dépenses énergétiques supplémentaires. Dans certaines situations, on peut prendre en compte l'encrassement comme un paramètre dimensionnant. Parce que l'encrassement a un impact sur les performances thermiques et hydrauliques de l'échangeur, des mesures de prévention et de lutte contre l'encrassement sont mises en œuvre, telles que le surdimensionnement des appareils et les nettoyages réguliers et intensifs, ce qui entraîne des coûts considérables. Selon Wang et al. (2009) [2], les États-Unis ont estimé le coût annuel de la lutte contre l'encrassement à plus de 4 milliards de dollars. Dans certaines situations, il est possible de remplacer l'équipement.

Dans cette recherche, nous examinons comment les échangeurs tubes et calandre du train de préchauffe 100-E-1 A/B/C/D de l'unité reformage catalytique (raffinerie de Skikda) peuvent être remplacés par un échangeur à plaques afin de résoudre les pertes de charges et d'économiser davantage d'énergie sous le four.

Le manuscrit est scindé en plusieurs chapitres :

Dans le premier chapitre, une présentation détaillée du complexe RA1K a été effectuée.

Le deuxième chapitre est consacré à la description de différentes unités de RA1K pour mieux comprendre son fonctionnement

Le troisième chapitre est réservé aux échangeurs de chaleur dont nous commençons par un petit aperçu suivi par un dimensionnement et quelques calculs thermique. Une conclusion générale et quelques recommandations clôturant ce mémoire.

Chapitre 01 : Présentation de la raffinerie de Skikda (RA1K)

1.1. Présentation générale de la raffinerie de Skikda

La raffinerie de Skikda est approvisionnée en pétrole brut algérien par l'Unité de Transport Est de Skikda (UTE), qui est une station intermédiaire à Hassi-Messaoud et dispose d'une capacité de traitement (18 millions de tonnes/an), ainsi qu'en pétrole brut réduit importé (277 000 tonnes /an). Le pétrole brut est transporté par pipelines. La distance entre les champs de pétrole et la raffinerie de Skikda est d'environ 640 kilomètres.

1.1.1. Situation géographique

La raffinerie est située dans une zone industrielle à 7 kilomètres à l'est de Skikda et à 2 kilomètres de la mer. Elle s'étend sur une superficie de 190 hectares et emploie actuellement environ 1 280 personnes. Il est approvisionné par le pétrole brut algérien de Hassi Messaoud.

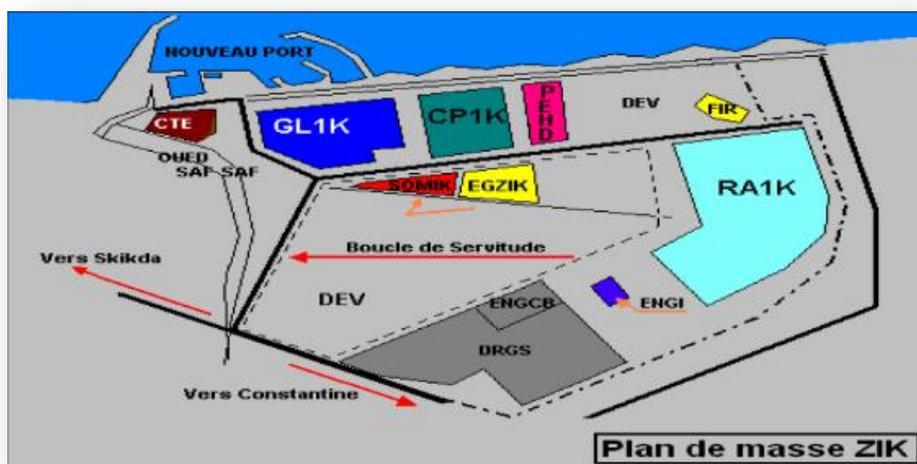


Figure 1.1. Situation géographique de la raffinerie de Skikda

1.1.2. Vue historique sur la raffinerie de Skikda

La construction de la raffinerie SKIKDA débute en janvier 1976, avec la signature d'un contrat entre le gouvernement algérien et les constructeurs italiens SNAM-PROGETTI et SAIPEM le 3 avril 1974, mis en œuvre un an plus tard : le 11 mars 1975 avec l'aide de ; sous-traitance de trois

(03) grandes entreprises nationales, à savoir : SONATRO pour le suivi routier et SONATIBA pour la construction des bâtiments et des tours de refroidissement, et SN'METAL pour la construction des réservoirs.

Le chantier a débuté le 2 janvier 1976 et s'est terminé en mars 1980. Les unités de production ont commencé progressivement :

- La première unité de distillation atmosphérique (U10) a été mise en service en mars 1980.
- L'unité de traitement et de séparation des gaz (U-30) a été mise en service en mars 1980.
- 2ème unité de distillation atmosphérique (U11) a été mise en place en juin 1980.
- 2ème unité de traitement et de séparation des gaz (U-31) a été mise en place en juin 1980.
- En juillet 1980, une unité de production de bitumes (distillation sous vide U-70) a été mise en place.
- En septembre 1980, l'Unité de prétraitement et de reforming catalytique (U-100) a été mise en place.
- En octobre 1980, l'Unité d'extraction des aromatiques (U-200) a été créée.

1.1.3. Présentation des différentes unités de production

Les différentes unités de production de la raffinerie de Skikda sont réparties en 23 unités représentées dans la figure 1.2.

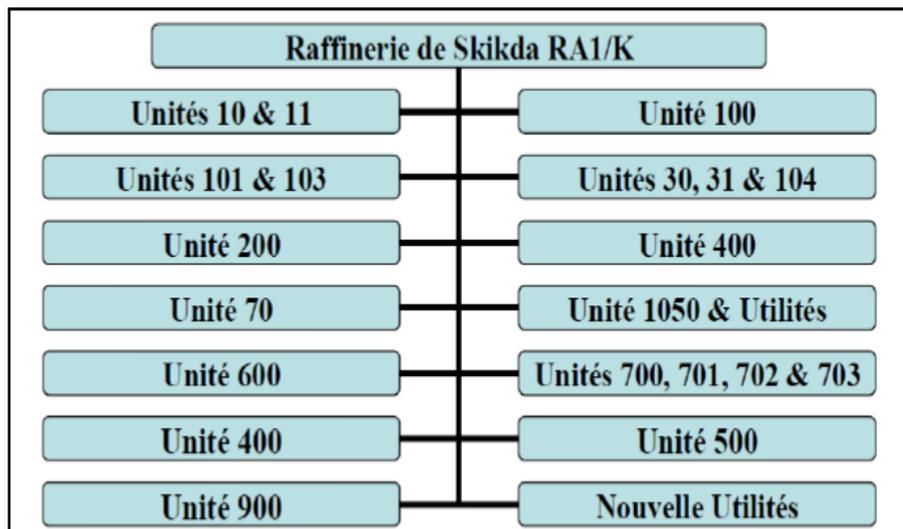


Figure 1.2: Les différentes unités du complexe RA1/K.

1.1.3.1 Unités de Distillation Atmosphérique U-10/11

L'objectif de la distillation atmosphérique est de diviser le brut en différentes coupes stabilisées, qui peuvent être utilisées pour produire des produits finis tels que le Naphta, le Gasoil et le Jet A1, ou pour alimenter d'autres unités situées en aval telles que le Magnaforming, le Platforming et la Gaz-Plant. Leur capacité annuelle de traitement du brut est de 16,5 millions de tonnes.

1.1.3.2 Unités de Reforming Catalytique (Magnaforming-Platforming) U-100 et U-103

L'objectif du Magnaforming et du Platforming est de convertir le naphta moyen et lourd fabriqué à partir du Topping en un produit (Reformat) qui sert de charge pour les unités d'aromatiques (unités 200 et 400). Ce changement, qui entraîne une hausse de l'indice d'octane, permet également d'utiliser le réformât obtenu pour la production d'essences.

1.1.3.3 Unités de Traitement et Séparation du GPL U-30/31 et U-104

L'objectif de ces unités est de séparer le GPL obtenu des unités Topping et Magnaforming, ainsi que des unités de plateforme, en utilisant le Butane et le Propane commercial. Le reste est utilisé comme combustible gazeux.

Le gaz liquide provenant de l'unité 100, notamment ceux de la tête de la colonne C7, est traité dans l'unité 30.

Les gaz provenant de la tête des colonnes de stabilisation de l'essence des deux unités de Topping sont recueillis par l'Unité 31.

L'Unité 104 a récemment été créée en utilisant la nouvelle unité de plate-forme 103 pour gérer les GPL provenant de cette unité.

1.1.3.4 Unité d'Extraction des Aromatiques U-200

La charge obtenue à partir de l'unité de Magnaforming est utilisée dans cette unité pour séparer le Benzène et le Toluène des autres familles d'hydrocarbures. Ensuite, on fractionne le mélange Benzène-Toluène afin d'obtenir des produits de très haute pureté.

1.1.3.5 Unité de Cristallisation du Paraxylène U-400

La charge provenant de l'unité de Magnaforming est également utilisée dans cette unité, ce qui permet de séparer le Paraxylène des autres xylènes (Métha-, Ortho-) et Ethylbenzène par

crystallisation. Le Paraxylène est vendu sous la forme d'un mélange de Xylène qui peut servir de solvant pour la production de peinture.

1.1.3.6 Unité de Production et Conditionnement des Bitumes U-70

L'unité 70 a été développée dans le but de traiter 271 100 tonnes par an de brut réduit importé (BRI), comprenant :

- Charge A : résidu TIA juan médium 372°C plus.
- Charge B : résidu TIA juan lourd 450°C plus.
- Charge C : résidu du brut du Koweït.

L'unité est essentiellement constituée d'une colonne de distillation sous vide et d'un réacteur d'oxydation des bitumes. Le fond de colonne est constitué du bitume routier classique qui est envoyé :

- Une partie vers le stockage.
- La deuxième partie sera utilisée comme charge pour la section d'oxydation, où elle sera oxydée en utilisant de l'air en bitume oxydé.

1.1.3.7 Centrale Thermoélectrique CTE (les utilités)

La centrale thermique électrique et utilité a été spécialement développée pour assurer la production, le conditionnement et la distribution des produits suivants dans la raffinerie :

- 1 - L'air comprimé
- 2 - Vapeur de pression basse, moyenne et élevée
- 3 - L'eau de refroidissement, les eaux potables et les eaux antiincendie.
- 4 - Azote (gaz non volatile)
- 5 - Gaz d'essence et gaz naturel
- 6 - L'électricité.

1.1.3.8 Unité de Stockage, Mélange et Expédition U-600

Il est responsable du mélange, du chargement et de l'expédition, ainsi que du stockage des différentes charges et produits des unités.

- Transport des produits vers les diverses installations de stockage, comme le dépôt d'El-Kheroub par exemple.

- Mélange de carburants.
- Assurer la gestion du chargement des produits situé au port de Skikda.

1.1.3.9 Unité de Purification de L'hydrogène U-900

La charge de cette unité est l'hydrogène provenant des différentes unités, ce qui permet de le purifier.

1.1.3.10 Unité de l'isomérisation U-500

L'objectif principal de l'Unité d'isomérisation est de désalkyler catalytiquement l'éthylbenzène au benzène et d'isomériser l'Ortho-xylène et le Méta-xylène au Para-xylène.

1.1.4 Le schéma des principaux procédés de la raffinerie de Skikda

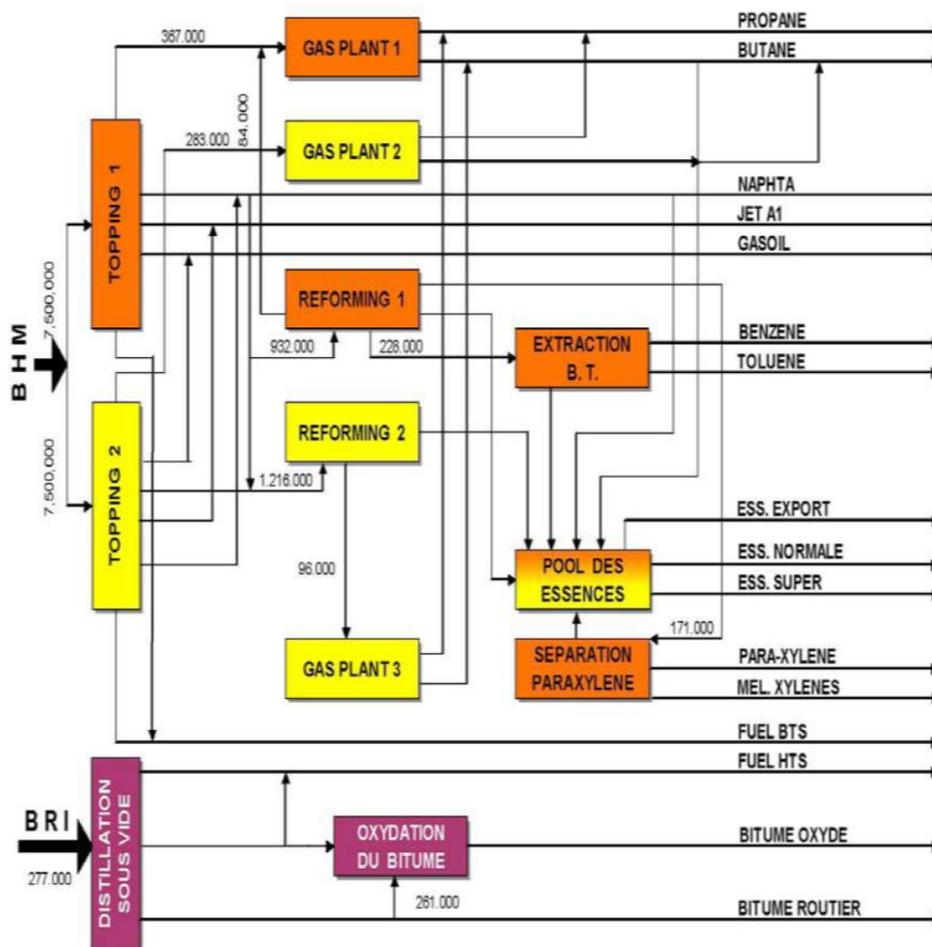


Figure 1.3 : Schéma de la Raffinerie de Skikda

1.2 Présentation de l'unité Magnaforming U-100

1.2.1 Introduction

Le projet de rénovation et d'adaptation de la raffinerie de SKIKDA (unité 100) peut être subdivisé en quatre parties distinctes, telles que :

- Phase de traitement hydrothermique du naphta (annexe 1)
- Phase de réaction (annexe 2)
- Phase de fractionnement (annexe 3)
- Phase d'absorption du gaz net de Magnaforming (annexe 4)

Pendant le processus de revamping, seules les parties de réaction et de fractionnement ont été refaites, mais la section d'hydrotraitement du naphta a été modernisée. Une nouvelle section du splitteur des plateformats est intégrée pour le découpage des plateformats issus de l'unité 103.

1.2.1.1 Section d'hydrotraitement

La section de prétraitement a pour objectif d'éliminer les impuretés contenues dans les différentes fractions pétrolières sous forme d'azote, oxygène, soufre ainsi que des métaux. Les impuretés sont un poison temporaire ou permanent pour le catalyseur de Magnaforming.

Ces impuretés sont une source de pollution et de corrosion et influent sur la qualité des produits.

Cette section comporte essentiellement un réacteur dans lequel s'effectue une réaction d'hydrosulfuration en présence de catalyseur, à base de nickel et de molybdène sur alumine, à une température de 360°C, sous une pression partielle d'H de l'ordre de 25 kg/cm².

Elle comporte également :

- Un groupe d'échangeurs pour préchauffer la charge.
- Un four, échangeurs et réfrigérant pour l'effluent.
- Un séparateur gaz/liquide
- Une batterie de compresseurs d'appoint et recyclage du gaz riche en H₂.

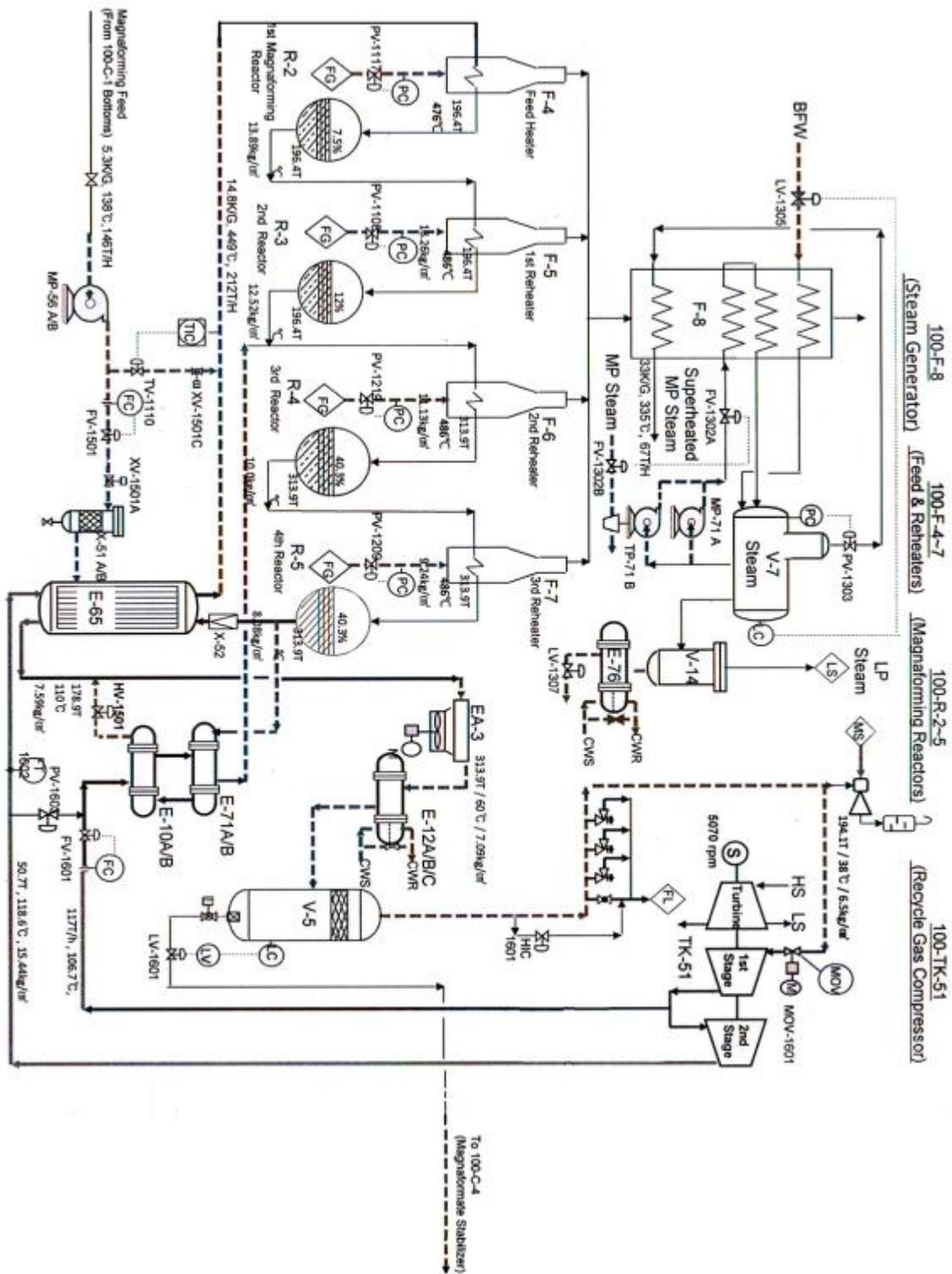


Figure 1.5 : schéma simplifié de la section réactionnelle de l'unité U-100

1.2.1.3 Section de fractionnement

La section de fractionnement à pour objectif de fractionner et de diviser les produits liquides de 100-V-5 (magnaformat) en coupe GPL, coupe C5, coupe C6, coupe C7 et coupe C8+, respectivement. La coupe C6 sera acheminée vers l'unité de récupération des aromatiques (unité 200) comme charge d'alimentation aux fins de récupération des produits du benzène et du toluène à haute pureté. La coupe C8+ sera acheminée vers l'unité de récupération du paraxylène (unité 400) comme charge d'alimentation afin de produire des produits du paraxylène à haute pureté. La coupe GPL, la coupe C5 et la coupe C7 sont acheminées à la limite de batterie comme des produits finaux. Le gaz net purifié à son tour est acheminé à l'unité d'hydrotraitement du naphta (NHU) pour l'hydrotraitement du naphta de distillation directe.

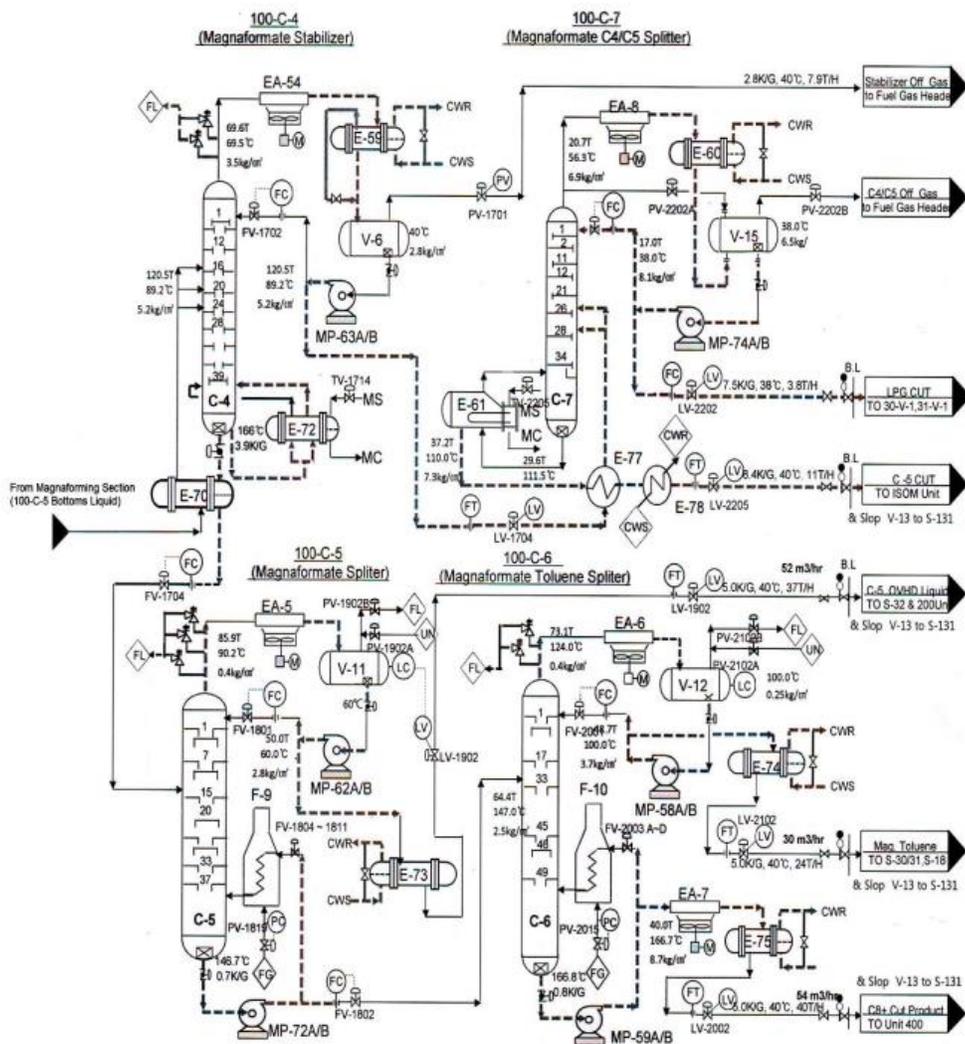


Figure 1.6 : Schéma de la section de Fractionnement de l'unité 100 (RA1K)

1.2.1.4 Section d'absorption du gaz net de Magnaforming (100-C-53 et 100-C-3)

L'objectif du système d'absorption du gaz net est de récupérer les hydrocarbures autant que possible du gaz net ainsi que pour générer une charge d'alimentation plus pure pour l'unité HUP u-900 en terme de concentration d'hydrogène . La récupération est réalisée par une absorption en contre-courant du gaz par une huile lourde (Lean oil).

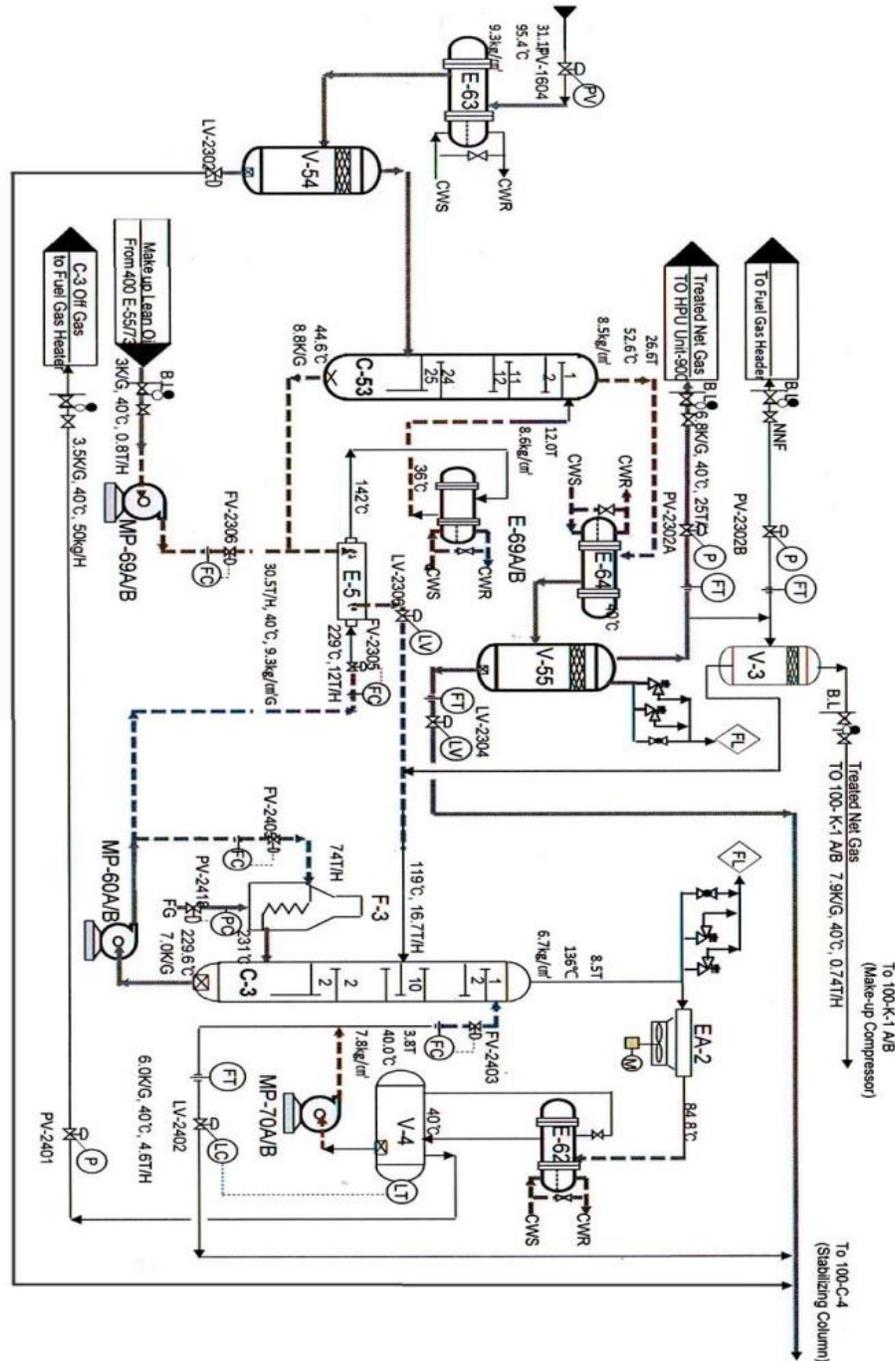


Figure1.7: Schéma simplifié de la section absorption U100

1.2.2 L'objectif de l'unité

Les essences issues de la distillation primaire renferment des substances néfastes ou indésirables telles que le soufre, l'azote, l'oxygène, etc. En outre, en raison de leur faible teneur en octane, elles ne conviennent pas aux moteurs à combustion interne et surtout pas à ceux qui fonctionnent dans des conditions encore plus rigoureuses.

Le reformage est principalement utilisé pour produire du reformat avec un indice d'octane élevé. Cependant, étant donné que la raffinerie de Skikda est destinée à la production de produits aromatiques, en plus de celle des carburants, les conditions fonctionnelles du reformage catalytique (Magnaforming) sont telles que l'amélioration de la production des hydrocarbures aromatiques est maximisée.

Dans cette étude on s'intéresse à la simulation des échangeurs.

Chapitre 02 : Généralités sur les échangeurs de chaleur

2.1 Introduction

Les produits commerciaux dérivés du pétrole brut sont obtenus grâce à une série d'opérations. Les unités de séparation, telles que la distillation, nécessitent une quantité importante d'énergie calorifique pour créer le gradient de température indispensable aux processus de dilution.

Le processus thermique d'une unité implique constamment de chauffer l'alimentation à une température élevée, puis de refroidir les produits obtenus à une température suffisamment basse pour les acheminer vers les bacs de stockage.

Le prix de revient de la fabrication est souvent influencé par la valeur des calories libérées au four de chauffage de la charge. C'est pourquoi nous nous efforçons de minimiser cette charge en mettant en place un circuit de récupération de chaleur entre l'alimentation froide et les effluents.

2.2 C'est quoi un échangeur de chaleur

Un échangeur de chaleur est un dispositif qui permet d'échanger de la chaleur entre deux ou plusieurs fluides. Ce dispositif fait chauffer le liquide froid et refroidit le fluide chaud. Si une chaleur est transférée avec un changement de phase, les échangeurs thermiques jouent un rôle d'évaporation ou de condensation. Ils peuvent être incorporés dans des dispositifs conçus pour le refroidissement et le réchauffement [3].

2.3 Critères de classement des échangeurs [4-9]

Il existe plusieurs critères de classement des différents types d'échangeurs. Énumérons les principaux :

2.3.1. Type de contact

➤ *Échangeurs à contact direct*

Le modèle le plus basique consiste en un récipient ou une canalisation où les deux fluides sont mélangés directement et atteignent la même température finale.

➤ *Échangeurs à contact indirect*

Sont des dispositifs où les deux fluides circulent dans des zones séparées par une paroi.

2.3.2 Classement fonctionnel

Les fluides peuvent circuler dans l'échangeur avec ou sans modification de phase ; en fonction de la situation, on parle d'écoulement monophasique ou diphasique. On observe alors les diverses situations suivantes :

- Les deux fluides se déplacent de manière monophasique.
- Un seul fluide présente une circulation avec modification de phase, comme c'est le cas pour les évaporateurs ou les condenseurs.
- Les deux fluides se déplacent avec une transition de phase, comme c'est le cas pour les évapocondenseurs.

2.3.3 Classement technologique

Les types d'échangeurs les plus couramment rencontrés sont les suivants :

- A forme de tubes : monotubes, coaxiaux ou multitubulaires.
- A forme de plaques : à surface principale ou secondaire.
- Autres possibilités : contact direct, avec des caloducs ou avec un lit fluidisé.

2.3.4 Classement selon le mode de transfert de chaleur

Dans la majorité des applications, les trois modes de transfert de chaleur (conduction, convection, rayonnement) sont combinés, avec souvent un mode de transfert dominant. La conduction est nécessaire pour tout échangeur où la chaleur est transmise à travers une paroi.

2.3.5 Classement selon la compacité de l'échangeur

Le rapport entre l'aire de la surface d'échange et le volume de l'échangeur est connu sous le nom de compacité. Si la compacité d'un échangeur dépasse $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$, il est considéré comme compact. Cette valeur peut varier de 500 à $800 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

2.3.6 Classement selon la nature du matériau de la paroi d'échange

Il y aura deux catégories de parois :

- Les échangeurs métalliques tels que l'acier, le cuivre, l'aluminium ou des matériaux spécifiques tels que les superalliages, les métaux ou les alliages réfractaires.
- Les échangeurs non métallique en plastique, céramique, graphite, verre, etc.

2.3.7 Classement selon la disposition des écoulements

Les modes de circulation des fluides peuvent être classés en trois catégories dans les échangeurs à fluide séparés :

- Le même concept de « co-courants ».
- Une attitude opposée « contre-courant ».
- Le mouvement des fluides est croisé dans un échangeur à courant croisé.

2.4 Différents types d'échangeurs [9-13]

Les échangeurs qui utilisent principalement des tubes comme composant de la paroi d'échange sont les plus courants. Trois catégories peuvent être identifiées en fonction du nombre de tubes et de leur disposition, toujours conçus pour obtenir la meilleure efficacité possible pour une utilisation spécifique.

2.4.1 Échangeur monotube

Dans lequel le tube est placé à l'intérieur d'un réservoir et a généralement la forme d'un serpentín comme montré à la figure au-dessous.

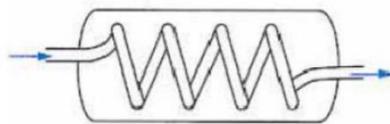


Figure 2.1 Échangeur monotube en serpentín

2.4.2 Échangeur coaxial

Dans lequel les tubes sont le plus souvent cintrés ; en général, le fluide chaud ou le fluide à haute pression s'écoule dans le tube intérieur comme montré à la figure au-dessous

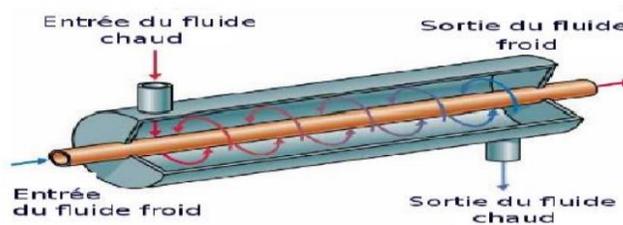


Figure 2.2. Echangeur coaxial

2.4.3 Échangeur multitubulaire

Existant sous quatre formes :

a) Échangeur à tubes séparés

Plusieurs tubes de petit diamètre (8 à 20 mm) sont placés à l'intérieur d'un tube de diamètre adéquat (environ 100 mm) et écartés par des entretoises.

On peut choisir entre un échangeur rectiligne ou enroulé.

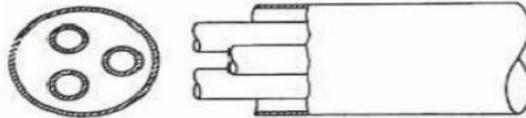


Figure 2.3 Echangeur a tubes séparés

b) Échangeur à tubes rapprochés

Afin de maintenir les tubes et d'assurer un passage adéquat du fluide extérieur au tube, on entoure certains d'entre eux d'un ruban enroulé en spirale. Les tubes se fixent les uns sur les autres grâce aux rubans.

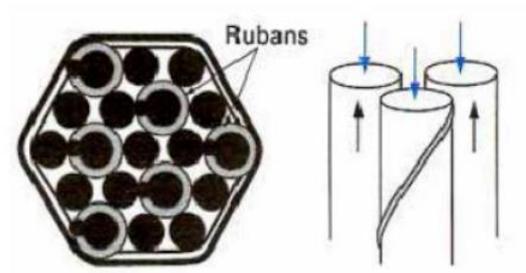


Figure 2.3 Echangeur a tube rapproches

c) Échangeur à tubes ailettes

Ces tubes permettent d'améliorer le coefficient d'échange thermique ; différents types d'ailettes sont toutefois utilisés.

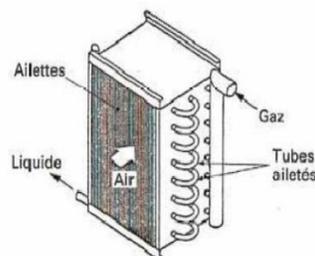


Figure 2.4 Echangeur a tube ailettes

industries (chimie, nucléaire, etc.). Les échangeurs à surface primaire et les échangeurs à surface secondaire sont classés en fonction de la géométrie de canal utilisée.

2.4.5.1 Échangeurs à surface primaire

La surface primaire des échangeurs est composée de plaques nervurées ou picotées. Le profil des plaques peut présenter une grande diversité, mais il joue toujours un double rôle en renforçant le transfert de chaleur et en résistant à la pression en multipliant les points de contact.

Le dessin des plaques et de leurs cannelures varie d'un constructeur à l'autre ; il existe une soixantaine de dessins de plaques.

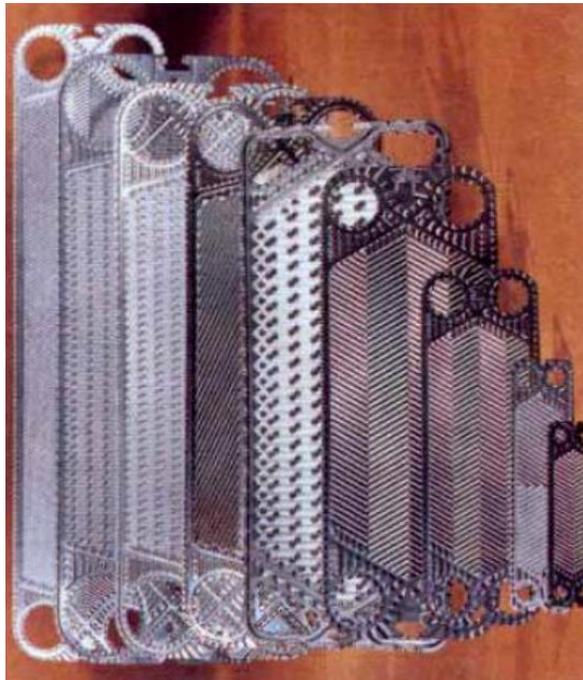


Figure 2.6 Différentes géométries de plaques d'échangeurs à surface primaire

Malgré le fait que la majorité des échangeurs de chaleur à plaques contemporains sont composés de chevrons. Le type à chevrons consiste à assembler les plaques adjacentes de manière à ce que le canal d'écoulement offre un mouvement tourbillonnant aux fluides. Le motif ondulé présente un angle β , également connu sous le nom d'angle de chevron. Sur les plaques adjacentes, l'angle de chevron est inversé, ce qui signifie que lorsque les plaques sont serrées ensemble, les ondulations offrent de nombreux points de contact. Les plaques peuvent être fabriquées dans un matériau extrêmement fin, généralement de 0,6 mm, en raison des nombreux points de contact

d'appui. Les extrémités du chevron varient d'environ 65°C à 25°C, ce qui influence les caractéristiques de perte de charge et de transfert de chaleur de la plaque.

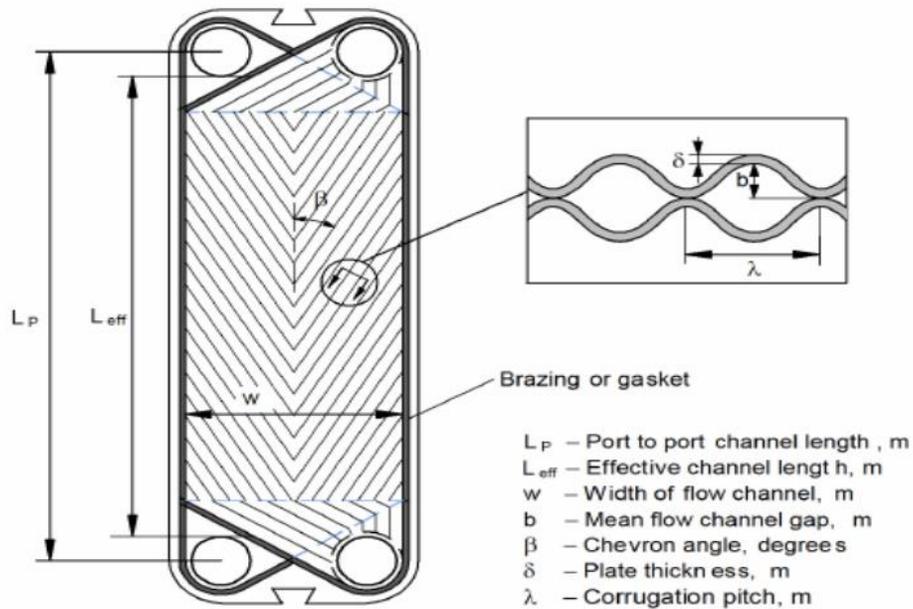


Figure 2.7 plaque de type chevron

Les plaques sont fabriquées en utilisant des embouts. L'acier inoxydable, le titane ou tout autre matériau assez ductile (Hastelloy, Incolay, Uranus B6, Monel, cupronickel, etc.) sont généralement utilisés. Pour des usages fréquents, les plaques possèdent une capacité de avec une épaisseur d'environ 0,6 à 0,8 mm, il est possible de réaliser des épaisseurs supérieures au millimètre dans certains cas.

Tableau 2.1 : Matériaux de construction des plaques [6]

Material	Thermal Conductivity (W/m ² .K)
Stainless steel (316)	16.5
Titanium	20
Inconel 600	16
Incolay	12
Hastelly C-276	10.6
Monel 400	66
Nickel 200	66
9/10 Cupro-nickel	52
70/30 Cupro-nickel	35

Parmi les échangeurs à surface primaire on trouve :

a) Échangeurs à plaques et joints

La surface d'échange se compose alors de plaques métalliques, munies de joints, renforcées les unes contre les autres par des tirants entre deux flasques, l'un fixe, l'autre mobile.

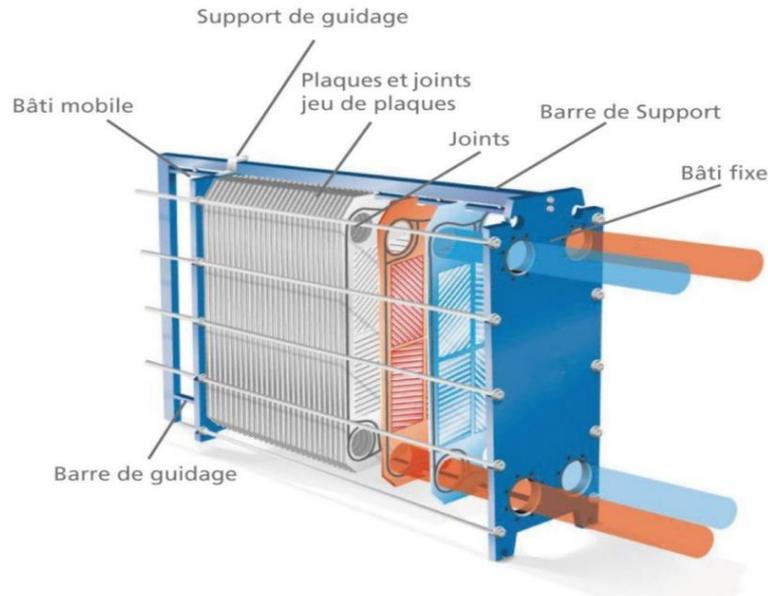


Figure 2.8 Échangeur à plaques et joints

La pression maximale de service et la pression différentielle entre les deux fluides restreignent les applications. De nos jours, il est possible de fabriquer de manière industrielle des échangeurs qui fonctionnent à des pressions allant de 15 à 20 bar, avec une température maximale de 30°C. La capacité de service est restreinte par la nature des joints. La limite maximale d'utilisation des joints standards est de 150 °C pour les joints standards et de 230 °C pour les joints spéciaux.

b) Échangeurs à plaques soudées et brasées

On les emploie pour la récupération de chaleur, dans les secteurs de la chimie, de la pétrochimie, de l'agro-alimentaire, etc. Plusieurs méthodes de production de plaques sont :

c) Échangeur platulaire

Il est constitué d'un assemblage de tôles planes embouties. Il existe différents types d'appareils : les uns sont composés de chambres planes munies de turbulateurs, les autres constitués de picots emboutis et soudés.

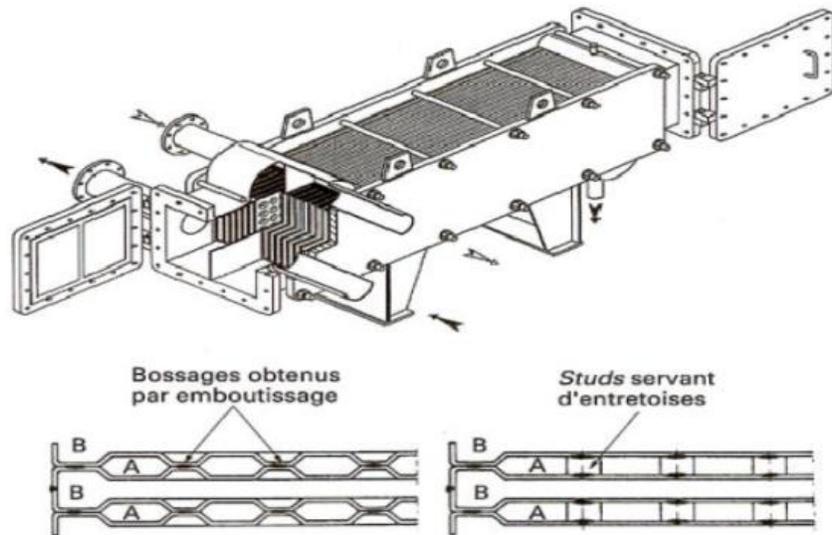


Figure 2.9 Échangeur platulaire et schéma canaux

d) Échangeur Compabloc

Il se compose d'une combinaison de plaques en forme de plaques, similaires à celles utilisées dans les échangeurs à plaques et joints ; la circulation des fluides est effectuée à courants croisés.

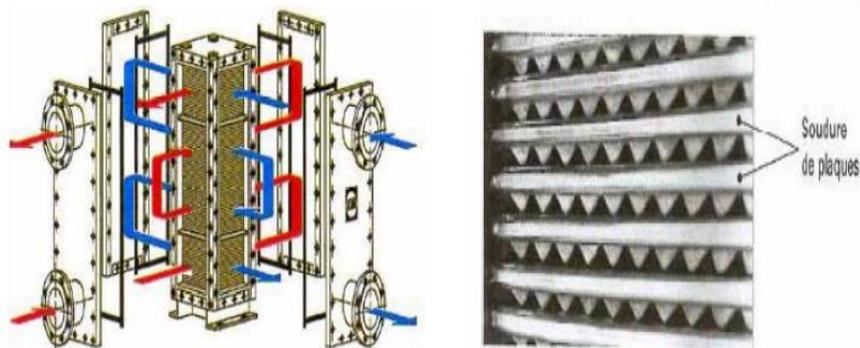


Figure 2.10 Échangeur Compabloc et l'empilement des plaques

e) Échangeur Packinox

Il s'agit d'un échangeur de grande taille avec des plaques soudées. Le faisceau est composé d'un amas de plaques émises par explosion et placées dans une calandre pouvant mesurer plus de 10 mètres de long. Cet échangeur a une capacité de fonctionnement allant jusqu'à environ 600 °C et des pressions de 50 bar.

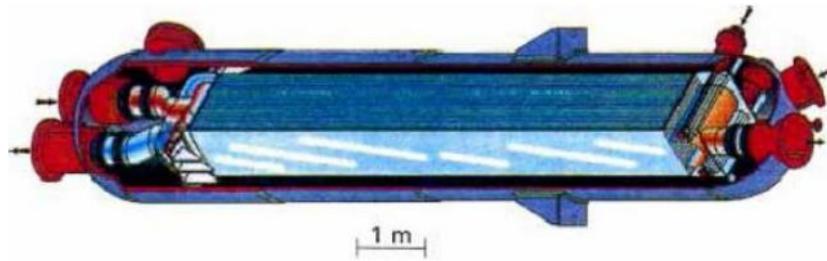


Figure 2.11 Echangeur Packinox

f) Échangeur lamellaire

Il s'agit d'une version différente de l'échangeur tubes et calandre, où le faisceau est composé de tubes aplatis ou de lamelles. Ces lamelles sont fabriquées à partir de deux plaques assemblées et soudées, formant ainsi un canal dans lequel l'un des fluides circule.

Chaque lamelle a la possibilité d'intégrer un élément interne (turbulateur) afin d'améliorer la résistance à la pression et l'échange thermique.



Figure 2.12 Echangeur lamellaire

g) Échangeur à spirale

Il se compose de deux bandes de tôle gaufrée, enroulées et alignées. Les taquets soudés sur les plaques maintiennent la distance entre les surfaces d'échange des deux canaux. Les fluides circulent de manière monocanale avec des courants parallèles ou rencontrés. Cet échangeur est capable de fonctionner à des pressions d'environ 25 bars et à des températures d'environ 300 °C.

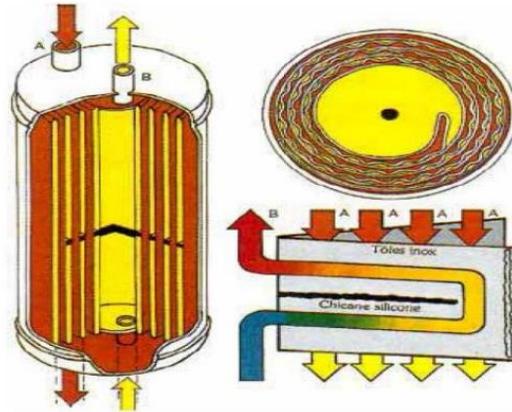


Figure 2.13 Echangeur spirale

h) Échangeur brasé

Il s'agit d'une alternative à l'échangeur plaques et joints classique, car sa surface d'échange est composée d'une série de plaques métalliques à cannelures arrondies.

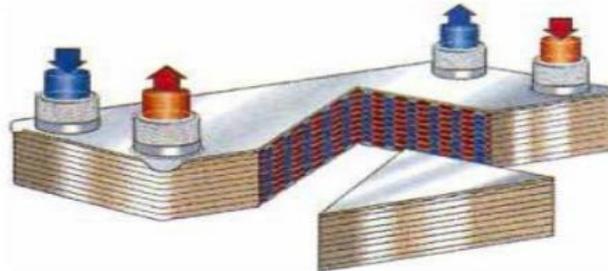


Figure 2.14 Echangeur brasé

II.4.5.2 Échangeurs à surface secondaire

L'aluminium ou l'acier inoxydable sont utilisés pour fabriquer ces échangeurs. Ils sont composés d'un assemblage de tôles ondulées qui forment des ailettes séparées par des tôles planes. On distingue, suivant le mode de fabrication et les matériaux utilisés : les échangeurs à plaques serties et les échangeurs à plaques brasées.

a) Échangeurs à plaques serties

Ces échangeurs se composent de tôles planes parallèles entre lesquelles sont disposées des ailettes ; ils sont généralement fabriqués en tôlerie légère (acier galvanisé, acier inoxydable, aluminium, etc.), les fluides sont entraînés par un canal sur deux et la circulation est soit à contre-

courant, soit à courants croisés, les ailettes sont de très bonne qualité et sont généralement utilisés pour la récupération sur l'air.

b) Échangeurs à plaques brasées

Ces échangeurs sont fabriqués à partir d'aluminium brasé. Les fluides sont transportés dans des passages définis par deux tôles planes successives et fermées latéralement par des barres.

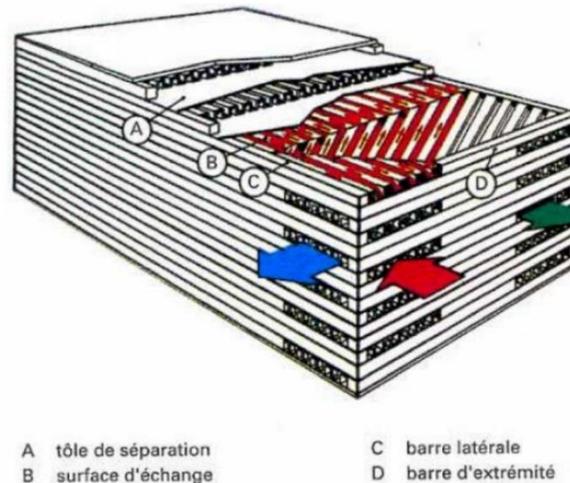


Figure 2.15 Echangeur a plaque brasées

2.5 L'encrassement en transfert de chaleur [14,15]

Pendant le fonctionnement normal d'un échangeur de chaleur, les surfaces d'échange sont fréquemment exposées à des dépôts causés par les impuretés du fluide, la formation de la rouille ou des produits d'autres réactions entre le fluide et le matériau de la paroi. L'encrassement des équipements de transfert thermique est défini comme la déposition et l'accumulation de matériaux ou de substances indésirables sur les surfaces d'échange de chaleur, qu'il s'agisse de rouille, de tartre (sédiment), de vase, de cristaux, de résidus biologiques, de produits de réaction chimique ou la combinaison de plusieurs de ces éléments.

Au niveau de la surface d'échange de chaleur, cette couche d'encrassement présente une conductivité thermique inférieure à celle du métal qui la forme, ce qui entraîne une augmentation significative de la résistance au transfert thermique et donc une baisse des performances de l'échangeur de chaleur. Par ailleurs, ce film d'encrassement diminue la distance entre le fluide et l'appareil, ce qui entraîne une augmentation de la perte de charge.



Figure 2.16 Exemple d'un faisceau de tubes d'un échangeur encrassé

2.5.1 Différents types d'encrassement

L'encrassement peut être classé en fonction du mécanisme qui régule la vitesse de dépôt, en fonction des conditions d'utilisation de l'échangeur ou en fonction du mécanisme dominant, même s'il ne régule pas la vitesse de dépôt. Cette dernière méthode de classification sera adoptée par nous. Il est possible d'identifier six types distincts.

- Encrassement particulaire.
- Corrosion.
- Entartrage.
- Encrassement biologique.
- Encrassement par réaction chimique.
- Encrassement par solidification.

2.6 Avantages des échangeurs à plaques par rapport aux échangeurs à tubes et calandre [16]

Grâce à leur petite taille, les échangeurs de chaleur à plaques (PHE) sont couramment employés dans le secteur industriel. Par rapport aux échangeurs de chaleur à calandre et tube, ils présentent des performances de transfert de chaleur plus élevées, un gradient de température plus bas, une plus grande turbulence et un entretien plus facile. Au fil des années, les modèles compacts ont été élaborés pour réduire la consommation de matière et les besoins d'espace. Avec des plaques minces qui créent un petit espace.

Les avantages des échangeurs de chaleur à plaques par rapport aux échangeurs à calandre et à tube:

- Des coefficients de transfert de chaleur plus élevés
- Surfaces de transfert de chaleur plus petites requises
- Moindre encrassement grâce aux turbulences de fluide élevées (effet autonettoyant)
- Espace d'installation et de maintenance requis nettement plus petit
- Poids plus léger
- Nettoyage simple
- Réduction des coûts d'investissement

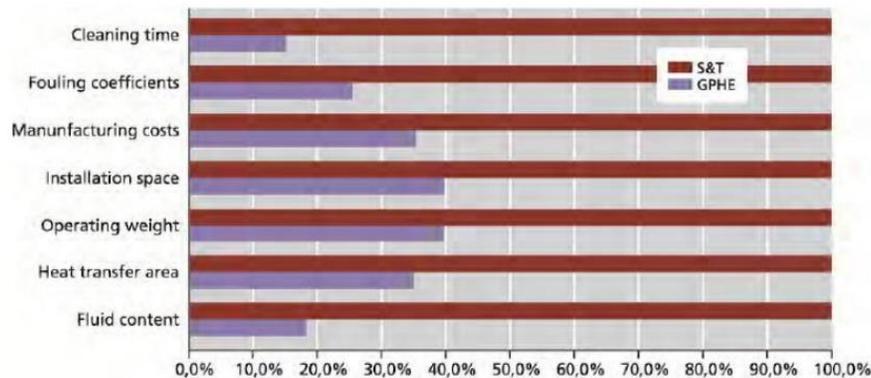


Figure 2.17 comparaison des échangeurs de chaleur à plaques avec échangeurs de chaleur à tube et calandre

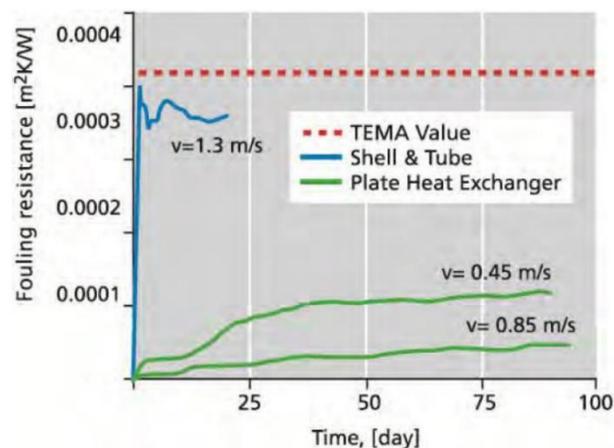


Figure 2.18 Comparaison entre la résistance à l'encrassement de PHE et la résistance à l'encrassement de l'échangeur tube et calandre (côté tube) (Müller- (Müller- Steinhagen, 2006) [6].

Chapitre 03 : Dimensionnement d'un échangeur à plaques

3.1 Introduction

Les problèmes liés à la thermohydraulique dans l'industrie des échangeurs de chaleur portent principalement sur la dimension thermique des appareils.

Le problème de calcul thermique des échangeurs est complexe en raison de divers facteurs tels que :

- La variété étendue des dispositifs (échangeurs tubulaires, à plaques, etc.)
- La diversité des modes d'écoulement inclut la simple phase en régime laminaire ou turbulent, avec ou sans convection naturelle, la diphasique en évaporation ou en condensation, la condensation avec ou sans incondensables, les mélanges de fluides, et bien d'autres encore.
- L'ampleur des configurations d'écoulement, qui peuvent dépasser largement deux fluides dans le cas d'un échangeur compact, par exemple

En plus de cette complexité causée par la technologie des appareils et la nature de la physique des écoulements, il est également difficile de créer un logiciel qui repose sur une méthode de calcul dont il est nécessaire de maîtriser parfaitement les hypothèses et les paramètres. Ainsi, il est nécessaire de :

- Élaborer un schéma d'écoulement lorsqu'il est complexe.
- Choisir les liens physiques les plus appropriés.
- Sélectionner un algorithme approprié pour résoudre le problème que l'on se pose, que ce soit en dimensionnement ou en simulation.
- Choisir une méthode numérique fiable qui garantit une convergence du calcul thermique pour tous les cas spécifiés.

3.2 Présentation du problème

La pompe 100-MP-2 A/B alimente la section de prétraitement en naphta B depuis les réservoirs de stockage. Grâce au 100-FRC-5, le débit de la charge est ajusté et le gaz de recyclage (composé à 90 % d'H₂) est mélangé. Le train de remplacement 100-E-1 A/B/C/D est préchauffé à 26°C, nécessitant une récupération significative de chaleur des divers effluents pour augmenter la

température avant leur transfert dans le four. Ce système de récupération est constitué de plusieurs échangeurs de préchauffage.

Cependant, en raison de l'usure et de l'encrassement des équipements thermiques, le train de préchauffe ne parvient plus à fournir suffisamment de chaleur au naphta B, compromettant ainsi le bon fonctionnement du four. Cela se traduit par une température de sortie inférieure à celle prévue (design : 260°C, actuelle : 240°C) et une diminution significative de la pression de charge de 4,4 kg/cm². Cette baisse de température est compensée par une charge thermique élevée du four pour atteindre une température de sortie de 320°C, entraînant une surconsommation importante de combustible.

Le remplacement du train d'échangeurs 100-E-1 A/B/C/D du Magnaforming (U-100) permettrait de :

- Exploiter le four dans des conditions optimales de design et de sécurité.
- Réaliser des économies de carburant.
- Réduire l'accumulation d'eau dans le train d'échange.

Pour rendre cette solution viable, il sera nécessaire d'envisager une éventuelle modification du train de préchauffe, tant sur le plan économique que technique. Les échangeurs tubes et calandre du train de préchauffe 100-E-1 A/B/C/D seront remplacés par des échangeurs à plaques, ce qui permettra d'économiser de l'énergie dans le réseau d'échangeurs de la section de prétraitement.

3.3 Logique de la phase de dimensionnement

Le problème du dimensionnement thermique dans une installation industrielle est illustré par la figure 3.1.

Dans un premier temps, il débute en choisissant le type d'échangeur approprié pour résoudre le problème posé. Ensuite, la phase de dimensionnement thermique proprement dite est nécessaire pour déterminer la surface d'échange nécessaire pour transférer la puissance sur les fluides en question. La phase de calcul est généralement itérative et permet d'approcher la solution qui semble la meilleure, tant sur le plan thermique que hydraulique, par des essais successifs. Les pertes de pression (charge) sur chaque circuit sont liées à l'aspect hydraulique, ce qui semble être une contrainte pour l'optimisation thermique. Les pertes de pression admissibles ne doivent pas être affectées par l'optimum géométrique, qui entraînerait une réduction de la surface pour le

même rendement thermique. Un calcul de taille des échangeurs permet de résoudre cette problématique.

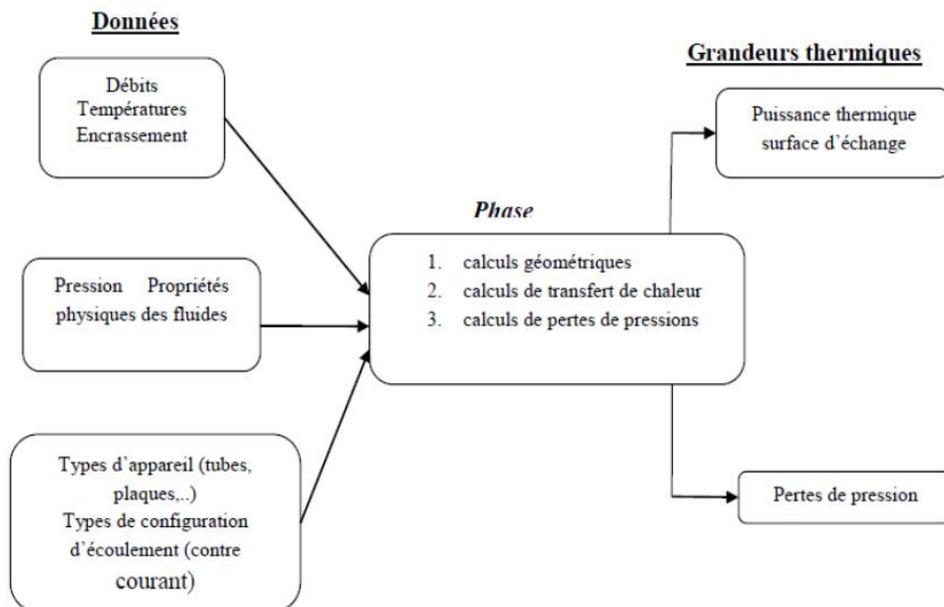


Figure 3.1 : Logique de la phase de dimensionnement thermique

Remarque :

- Cette phase de dimensionnement thermique peut être manuelle ou effectuée à l'aide d'un outil informatique ; dans les deux cas, l'enchaînement itératif conduisant à répéter le calcul thermique après modification de certains paramètres géométriques.
- La phase de dimensionnement thermique de l'échangeur n'est qu'une des étapes permettant d'arriver au dessin final, avec la phase de dimensionnement mécanique.
- Suite au calcul thermique, certains logiciels proposent une phase d'estimation du coût de l'appareil ; cette estimation de coût de fabrication peut être chiffrée à partir des coûts unitaires (Prix des composants, temps d'usinage, etc.), ou plus approximativement à partir du poids de l'appareil ou de sa surface d'échange.
- Au centre de la phase de dimensionnement thermique se trouve le calcul thermique proprement dit.

3.4 Procédure

Il est impossible de fournir des méthodes de conception précises pour les échangeurs de chaleur à plaques. Les conceptions sont exclusivement à la disposition des fabricants et seront habituellement établies en collaboration. Les performances des différents modèles de plaque utilisés ne sont généralement pas connues. Notre étude se concentrera sur la méthode proposée pour les échangeurs à plaques par le fabricant ALFA LAVAL, qui est l'une des seules entreprises qui offre des données suffisantes pour réaliser un dimensionnement professionnel.

La procédure de dimensionnement se fait par les étapes suivantes :

1. Calculer le taux de transfert de chaleur requis Q .
2. Calculer la différence de température moyenne logarithmique, $DTLM$.
3. Déterminer le facteur de correction de la température moyenne logarithmique, F_t
4. Calculer la différence de température moyenne corrigée $DTLM$ Corrigée.
5. Estimer le coefficient global de transfert de chaleur.
6. Calculer la surface requise.
7. Sélectionner le type des plaques de l'échangeur.
8. Déterminer le nombre de plaques requises : surface totale / surface d'une plaque.
9. Décider de la disposition du débit et du nombre de passes.
10. Calculer les coefficients de transfert de chaleur du film pour chaque flux.
11. Calculer le coefficient global en tenant compte des facteurs d'encrassement.
12. Comparer le coefficient calculé avec le coefficient global supposé. Si satisfaisant, dites Erreur de 0% à 10%, continuer. Si non satisfaisant, revenir à l'étape 8 et augmenter ou diminuer le nombre de plaques.
13. Vérifier la perte de charge pour chaque flux.

3.5 Dimensionnement de l'échangeur

Tableau 3.1 : Caractéristiques de fluide de circulation

	Charge (coté froid) à $T_{moy} = 148^{\circ}\text{C}$	Effluent (coté chaud) à $T_{moy} = 216,55^{\circ}\text{C}$
Debit (kg/h)	148784	148784
Debit (kg/s)	41.33	41.33
T entrées ($^{\circ}\text{C}$)	26	320
T sorties ($^{\circ}\text{C}$)	270	??
Masse vol (kg/m ³)	613.211	539.185
Cp (kj/kg C)	2.606	3.0428
Viscosité (Pa*s)	0.00016591	0.0001042
Conductivité (w/m k)	0.09656	0.089166
Prandtl nombre	4.477	3.555

3.5.1 Calcul de la quantité de chaleur échangée

$$Q = m_f \times C_{pf} \times (T_{sf} - T_{ef}) = m_c \times C_c \times (T_{ec} - T_{sc})$$

$$Q = 41.33 \times 2.606 \times 1000 \times (270 - 26) = 41.33 \times 3042.8 \times (320 - 111.027)$$

$$Q = 26279552.6 \text{ J/s}$$

3.5.2 Calcul de la température de sortie de l'effluent

$$T_{cs} = T_{ce} - \frac{Q}{m_c \cdot C_{pc}}$$

$$T_{cs} = 320 - \frac{26279552.6}{41.33 \times 3.0428 \times 1000}$$

$$T_{cs} = 111.00^{\circ}\text{C}$$

3.5.3 Calcul de DTLM

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

$$\Delta T_1 = 320 - 270 = 50^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 111.00 - 26 = 85.0266859^\circ\text{C}$$

$$DTLM = 65.97^\circ\text{C}$$

3.5.4 Facteur de correction de DTLM (Ft)

$$NUT = \frac{(T_s - T_e)}{DTLM}$$

$$NUT = \frac{(270 - 26)}{65.97}$$

$$NUT = 3.70$$

Pour un échangeur à plaques soudées de 1-1 passe (une passe pour le fluide chaud et une passe pour le fluide froid)

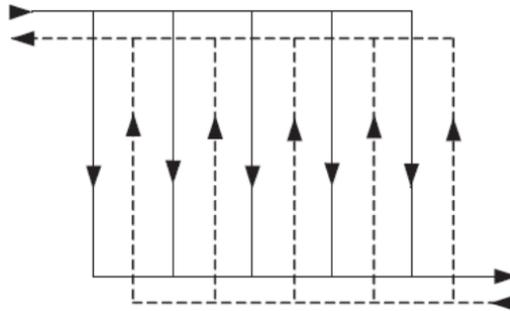


Figure 3.2 : Echangeur à plaques 1-1 passe

On tire du graphe la valeur de Ft

$$Ft = 0,93$$

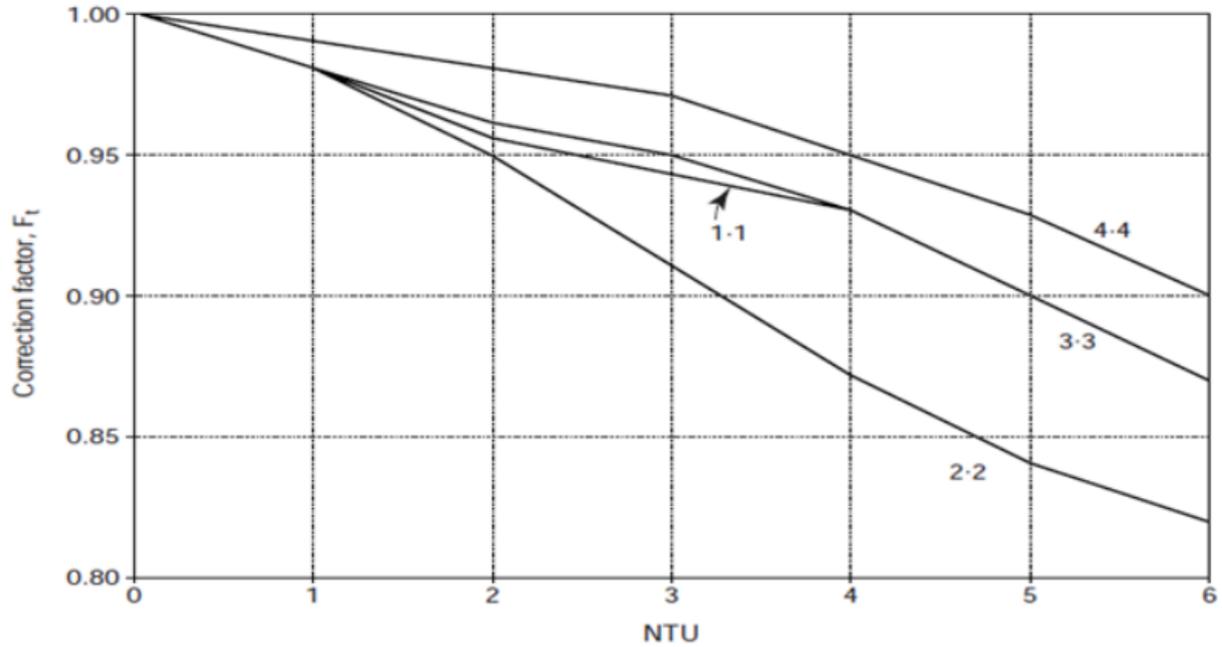


Figure 3.3 : Facteur de correction F_t

3.5.5 Sélection de type des plaques de l'échangeur

Tableau 3.2 : Caractéristiques de la plaque sélectionnée

Type	Plaque à chevron
Surface d'échange (m^2)	2.187
Matériau	Titanium
Conductivité de la plaque ($W/m \cdot ^\circ C$)	21
Hauteur (m)	2.5
Largeur (m)	0.7
Epaisseur (m)	0.0008
Canal de passage (m)	0.003
Section de canal de passage (m^2)	0.0021
Diamètre équivalent (m)	0.006

3.5.6 Estimation du coefficient global de transfert U

Après avoir déterminé le type d'appareil à utiliser, ainsi que les deux fluides circulant dans l'échangeur on va donner une estimation du coefficient de transfert sale U à partir du tableau suivant :

Tableau 3.3 : Coefficient de transfert global pour les échangeurs à plaques

Hot fluid	Cold fluid	U (W/m ² °C)
light Organic	light organic	2500-5000
light Organic	viscous organic	250-500
Viscous organic	viscous organic	100-200
light Organic	process water	2500-3500
Viscous organic	process water	250-500
light Organic	cooling water	2000-4500
Viscous organic	cooling water	250-450
condensing steam	light organic	2500-3500
condensing steam	viscous organic	250-500
process water	process water	5000-7500
process water	cooling water	5000-7000
Dilute aqueous solutions	cooling water	5000-7000
condensing steam	process water	3500-4500

$$2500 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} < U < 5000 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La valeur estimée est **U= 3750 W/m² °C**

3.5.7 Calcul de la surface d'échange

En premier essai, $U = 3750 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$A = \frac{Q}{U \times Ft \times DTLM}$$

$$A = \frac{2627955.6}{3750 \times 0.93 \times 65.9708137}$$

$$A = 114.22 \text{ m}^2$$

Après plusieurs itérations dans le but de la convergence de U calculé par des corrélations et U

requis on a trouvé : $U_{requis} = 1911.76 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$A = \frac{Q}{U \times Ft \times DTLM} = \frac{26279552.6}{1911.76471 \times 0.93 \times 65.9708137}$$

$$A = 224.051955 \text{ m}^2$$

3.5.8 Détermination du nombre de plaques requises

$$Np = \frac{A}{a}$$

Pour le nombre de plaques on arrondit au chiffre impair supérieur : $Np = 103$

Donc le nombre des canaux pour chaque fluide (Nc) :

$$Nc = \frac{Np - 1}{2}$$

$$Nc = 51$$

3.5.9 Calcul des coefficients de transfert de chaleur h pour chaque flux La charge (Côté froid)

$$hf = \frac{Nu \times \lambda}{De}$$

Calcul de la vitesse massique dans les canaux Vf :

$$Vf = \frac{m}{Sc \times nc}$$

$$Vf = \frac{41.33}{0.0021 \times 51}$$

$$Vf = 385.9 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

Calcul du nombre de Reynolds Re :

$$Re = \frac{De \times Vf}{\mu}$$

$$Re = \frac{0.006 \times 385.890653}{0.00016591}$$

$$Re = 13955.42$$

Calcul du nombre de Nusselt Nu :

$$Nu = 0.14188 \times Re^{0.72} \times Pr^{0.37}$$
$$Nu = 0.14188 \times 13955.4211^{0.72} \times 4.48^{0.37}$$
$$Nu = 238.24$$

Calcul du coefficient de transfert par convection hf :

$$hf = \frac{238.24 \times 0.09656}{0.006}$$
$$hf = 3834.16 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

Effluent (coté chaud) :

$$h_c = \frac{Nu_c \times \lambda}{D_e}$$

Calcul de la vitesse massique dans les canaux V_c :

$$V_c = \frac{m}{S_c \times n_c}$$
$$V_c = \frac{41.33}{0.0021 \times 51}$$

$$V_c = 385.9 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

Calcul du nombre Reynolds Re :

$$Re = \frac{0.006 \times 385.9}{0.0001042}$$
$$Re = 22220.2$$

Calcul du nombre de Nusselt Nu :

$$Nu = 0.14188 \times 22220.2^{0.72} \times 3.56^{0.37}$$
$$Nu = 305.8$$

Calcul de coefficient de transfert par convection h_c :

$$h_c = \frac{305.8 \times 0.089166}{0.006}$$
$$h_c = 4544.4 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

3.5.10 Calcul de coefficient global du transfert de chaleur U

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_f} + \frac{e}{\lambda_p} + \frac{1}{h_c} + \frac{1}{f_f} + \frac{1}{f_c}$$

h_f : Coefficient convectif du côté chaud [W/m².°C]

h_c : Coefficient convectif du côté froid [W/m².°C]

e_p : Epaisseur de la plaque[m]

λ_p : Conductivité de la plaque [W/m.°C]

f_c : Coefficient d'encrassement du fluide chaud [m².°C/W]

f_f : Coefficient d'encrassement du fluide froid [m².°C/W]

Tableau 3.4 : Facteur d'encrassement pour les échangeurs à plaques

Service	Fouling Factor m2.K/W
water	
Demineralied or distilled	0.0000017
Soft	0.0000034
Hard	0.0000086
Cooling tower (treated)	0.0000069
Sea (coastal) or estuary	0.000086
Sea (ocean)	0.000052
River , canal , tube well , etc...	0.000086
Engine jacket	0.0000103
Steam	0.0000017
Lubricationg oils	0.0000034-0.0000086
Vegetable oils	0.0000017-0.0000052
Organic solvents	0.0000017-0.0000103
General process fluids	0.0000017-0.00000103

Calcul de U :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{3834.16} + \frac{0.0008}{21} + \frac{1}{4544.4} + 2 \times 0.0000017$$

$$\frac{1}{U} = 0.00052236$$

$$U = 1914.4 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

Calcul de l'erreur :

$$e = \left| \frac{U_{requis} - U}{U_{requis}} \right| \times 100$$
$$e = \left| \frac{1911.76 - 1914.4}{U_{requis} 1911.76} \right| \times 100$$
$$\mathbf{e = 0.14 \%}$$

3.5.11 Vérification des pertes de charges

Coefficient de fraction :

$$F_{tf} = 0.0892 \times 10^6 \times Re^{-0.10}$$

$$F_{tf} = 0.0892 \times 10^6 \times 13955.42^{-0.10}$$

$$\mathbf{F_{tf} = 34347.14}$$

Donc la perte de charge :

$$\Delta P_f = F_{tf} \times \left(\frac{m}{n_c} \right)^2 \times 1/\rho$$

$$\Delta P_f = 34347.13 \times \left(\frac{41.33}{51} \right)^2 \times 1/613.211$$

$$\mathbf{\Delta P_f = 41.833 Kpa}$$

Donc les pertes de charges sont admissibles relativement aux pertes de charges pour lesquelles le train de préchauffe(E1) a été conçu : 2 kg/cm² pour la charge (coté froid) et 2.8 kg/cm² pour (coté chaud).

3.6 Résultats et discussion

3.6.1 Débit

Le débit peut décrire le volume ou la quantité de fluide, de gaz ou d'autres substances qui traversent une surface donnée dans une unité de temps.

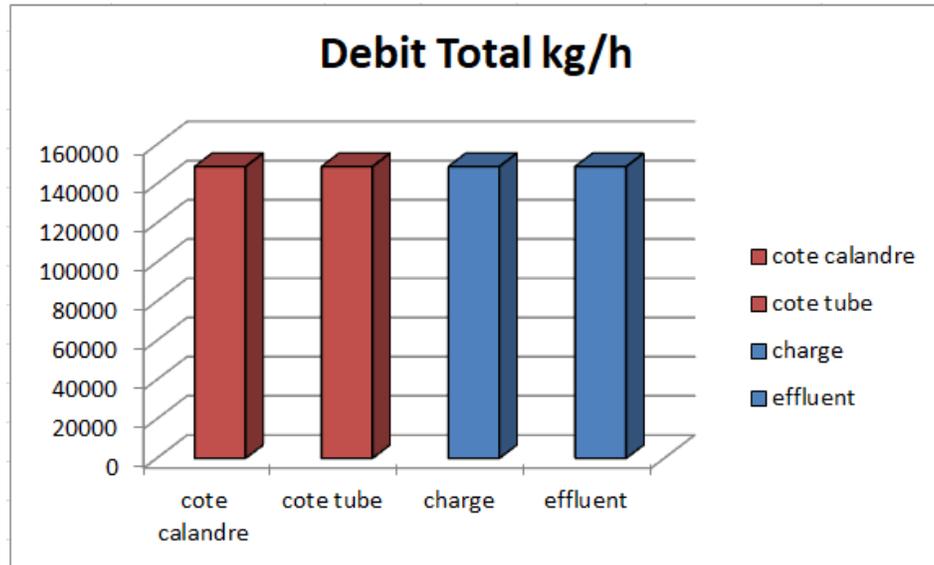


Figure 3.4 Débit total du train d'échange et l'échangeur à plaque

Dans cette figure, représentant le débit du train d'échange et de l'échangeur à plaques, il a été constaté que le débit est identique pour les deux systèmes. Cela indique que, malgré les modifications apportées au type d'échangeur, la capacité de traitement du débit reste constante. L'échangeur à plaques, tout en offrant une meilleure efficacité énergétique et une réduction de l'encrassement, parvient à maintenir le même débit que l'échangeur précédent, garantissant ainsi une continuité dans le processus de prétraitement du naphta B.

3.6.2 Température

La température est un concept fondamental en physique qui décrit l'état thermique d'un objet ou d'un système en fonction de l'agitation thermique de ses composants. elle calculé en se basant sur la relation 3.1.

$$T_{cs} = T_{Ce} - \frac{Q}{m_c c_{pc}}$$

D'où :

Q : représente la quantité d'énergie transférée

T_{ce} : représente la température de l'entrée

m_c : représente la masse de la substance

C_{pc} : représente la capacité thermique de la substance

T_{cs} : représente la température de la sortie

$$T_{cs} = 320 - \frac{2627955,6}{41,33 \times 3,0428 \times 1000}$$

$$T_{cs} = 111,00 \text{ } ^\circ\text{C}$$

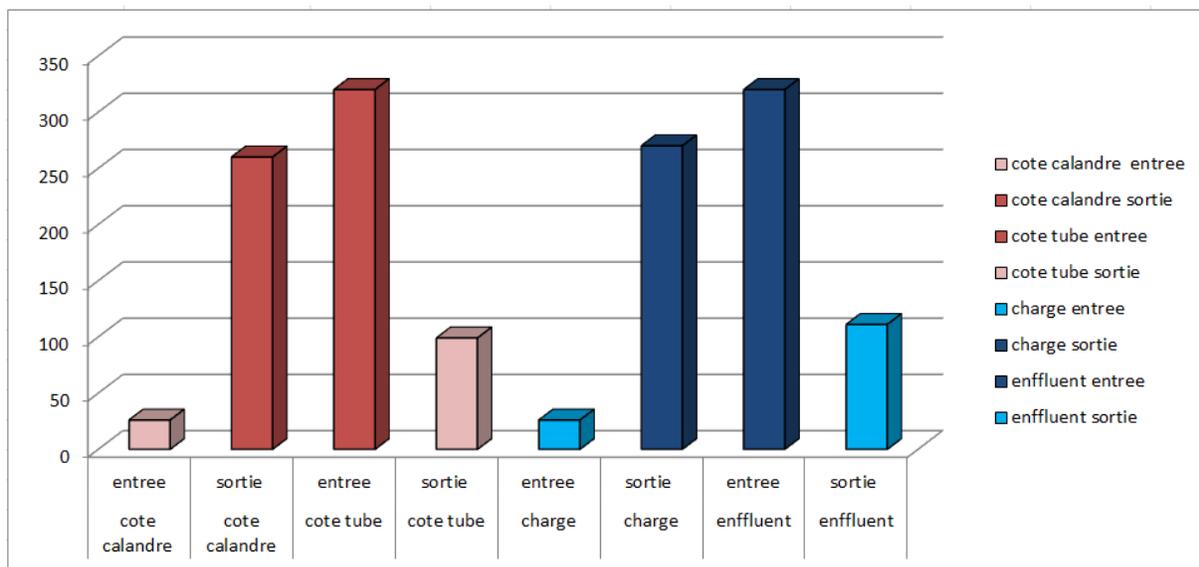


Figure 3.5 Température de service du train d'échange et l'échangeur a plaque

D'après les résultats regroupés dans la figure 3.2, il a été trouvé que la température d'entrée est la même pour les deux systèmes. Cependant, à la sortie, la température de l'échangeur à plaques est plus élevée que celle du train d'échange. Cela démontre que l'échangeur à plaques est plus efficace dans le transfert de chaleur, augmentant ainsi la température de sortie du fluide traité par rapport au train d'échange traditionnel.

3.6.3 Pression

La pression est une mesure de la force par unité de surface exercée par un fluide ou un solide.

Elle joue un rôle crucial dans de nombreux aspects de la vie quotidienne et des sciences.

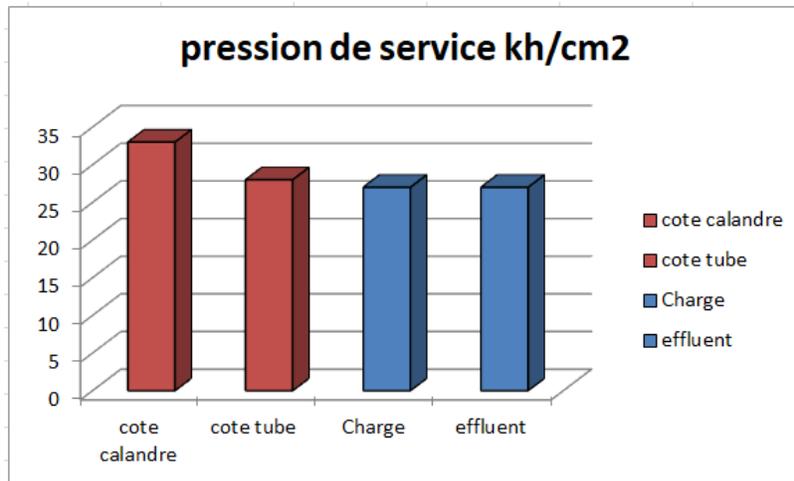


Figure 3.6 Pression de service du train d'échange et l'échangeur a plaque

Il a été constaté que la pression du train d'échange diminue, tandis que la pression de service de l'échangeur à plaques reste constante. Cela indique que l'échangeur à plaques maintient une pression stable, contrairement au train d'échange qui subit une diminution de pression au cours du processus. Cette stabilité dans la pression de service de l'échangeur à plaques reflète son efficacité et sa capacité à minimiser les pertes de charge.

3.6.4 Nombre de passes

Dans le contexte de la pétrochimie, "nombre des passes de train d'échange" pourrait se référer à la configuration spécifique des échangeurs de chaleur utilisés dans les procédés pour optimiser le transfert de chaleur entre les fluides, contribuant ainsi à l'efficacité et à la performance globale des installations pétrochimiques.

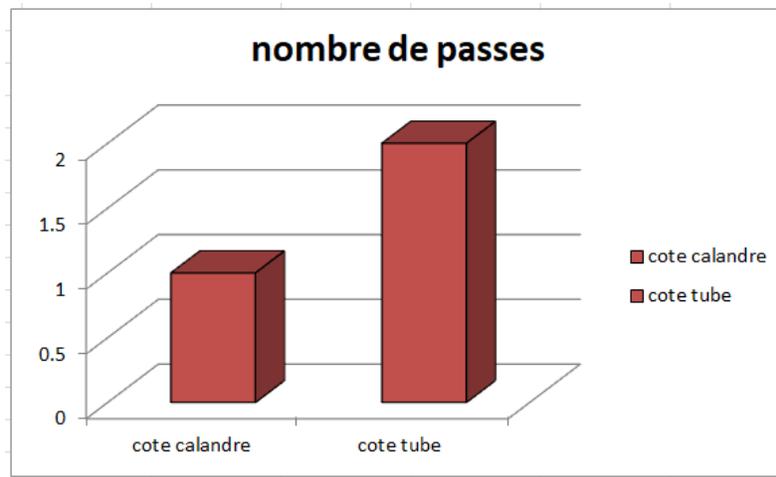


Figure 3.7 nombre de passes du train d'échange

Les résultats obtenus (figure 3.7) montrent que le nombre de passes du côté calandre est deux fois moins élevé que le nombre de passes du côté tube. Cela signifie que pour chaque passe effectuée du côté calandre, deux passes sont effectuées du côté tube. Ce rapport de passes entre les deux côtés optimise l'efficacité de l'échange thermique, permettant ainsi un transfert de chaleur plus équilibré et performant entre les fluides.

3.6.5 Chute de pression

La chute de pression est un phénomène physique important à prendre en compte dans la conception, l'installation et l'opération des systèmes de fluides, y compris dans des domaines tels que la pétrochimie, l'ingénierie des procédés, le génie chimique, et d'autres industries où le transfert efficace de fluides est essentiel.

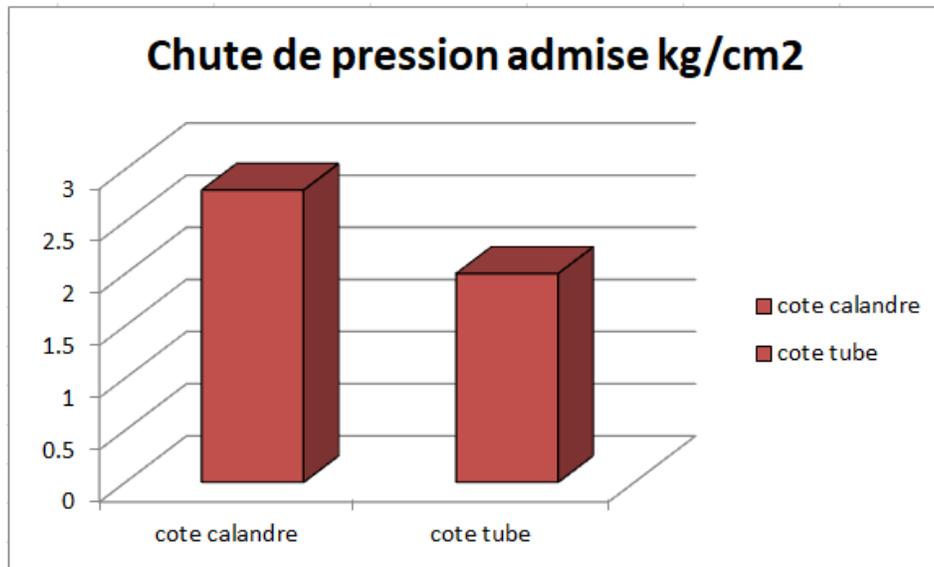


Figure 3.8 La chute de pression admise du train d'échange

Il a été trouvé que la chute de pression du côté calandre est plus importante que du côté tube. Cela indique que la résistance au passage du fluide est plus élevée du côté calandre par rapport au côté tube. Cette différence de chute de pression peut être due à la conception des échangeurs et à la configuration du flux à l'intérieur de ceux-ci, où le côté calandre présente probablement plus d'obstacles ou de restrictions au flux que le côté tube.

3.6.6 Surface d'échange

En pétrochimie, la surface d'échange est un élément clé dans la conception et l'opération des équipements et des processus. Elle est spécifiquement conçue pour optimiser le transfert de chaleur ou de matière, contribuant ainsi à l'efficacité globale des opérations et à la qualité des produits chimiques finaux.

La surface d'échange est calculée comme suit :

$$A = \frac{Q}{U \times Ft \times DTLM}$$

D'où :

Q : la quantité de chaleur échangée

U : coefficient global de transfert

Ft : Facteur de correction

DTLM : Différence de Température Logarithmique Moyenne

$2500 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} < U < 5000 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

La valeur estimée est $U = 3750 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

En premier essai, $U = 3750 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$A = \frac{26279552,6}{3750 \times 0,93 \times 65,9708137}$$

$$A = 114,22 \text{ m}^2$$

Après plusieurs itérations dans le but de la convergence de U calculé par des corrélations et U requis on a trouvé :

$$U_{requis} = 1911,76 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Donc :

$$A = \frac{26279552,6}{1911,76 \times 0,93 \times 65,9708137}$$

$$A = 224,051955 \text{ m}^2$$

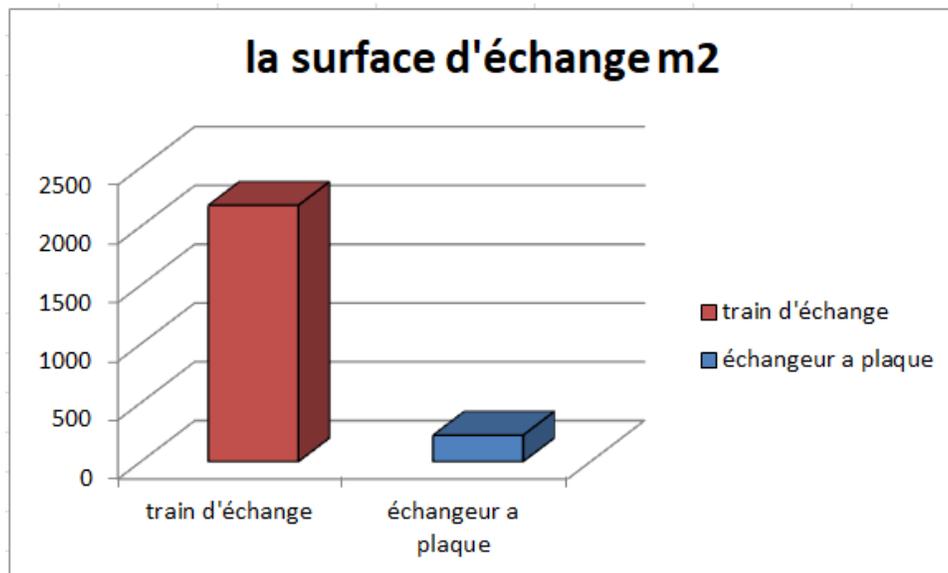


Figure 3.9 la surface d'échange du train d'échange et l'échangeur a plaque

De la figure 3.8, il a été trouvé que la surface d'échange du train d'échange est plus de 10 fois supérieure à celle de l'échangeur à plaque. Cela signifie que l'échangeur à plaque, malgré sa surface d'échange réduite par rapport au train d'échange traditionnel, parvient à assurer un transfert thermique efficace avec une surface beaucoup plus petite. Cette caractéristique de l'échangeur à plaque témoigne de sa capacité à être compact tout en maintenant des performances thermiques adéquates, ce qui peut être avantageux dans les installations où l'espace est limité ou lorsqu'une conception plus compacte est préférée.

3.6.7 Coefficient global U

Le coefficient global de transfert de chaleur, souvent désigné par la lettre U dans les équations et les conceptions d'ingénierie, est une mesure de l'efficacité avec laquelle la chaleur est transférée à travers la surface d'échange entre deux fluides à des températures différentes. Ce coefficient U est utilisé principalement dans le contexte des échangeurs de chaleur et d'autres équipements de transfert de chaleur en génie chimique, en ingénierie des procédés et dans diverses applications industrielles.

Le coefficient global de transfert de chaleur est calculé par la relation suivant :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_f} + \frac{e}{\lambda_p} + \frac{1}{h_c} + \frac{1}{f_f} + \frac{1}{f_c}$$

Avec :

U : coefficient global du transfert de chaleur [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]

h_f : Coefficient convectif du côté chaud [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]

h_c : Coefficient convectif du côté froid [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]

e : Epaisseur de la plaque[m]

λ_p : Conductivité de la plaque [$\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$]

f_c : Coefficient d'encrassement du fluide chaud [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$]

f_f : Coefficient d'encrassement du fluide froid [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$]

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{3834,16} + \frac{0,0008}{21} + \frac{1}{4544,4} + 2 \times 0,0000017$$

$$\frac{1}{U} = 0,00052236$$

$$U = 1914,4 \text{ W/m}^2\text{C}$$

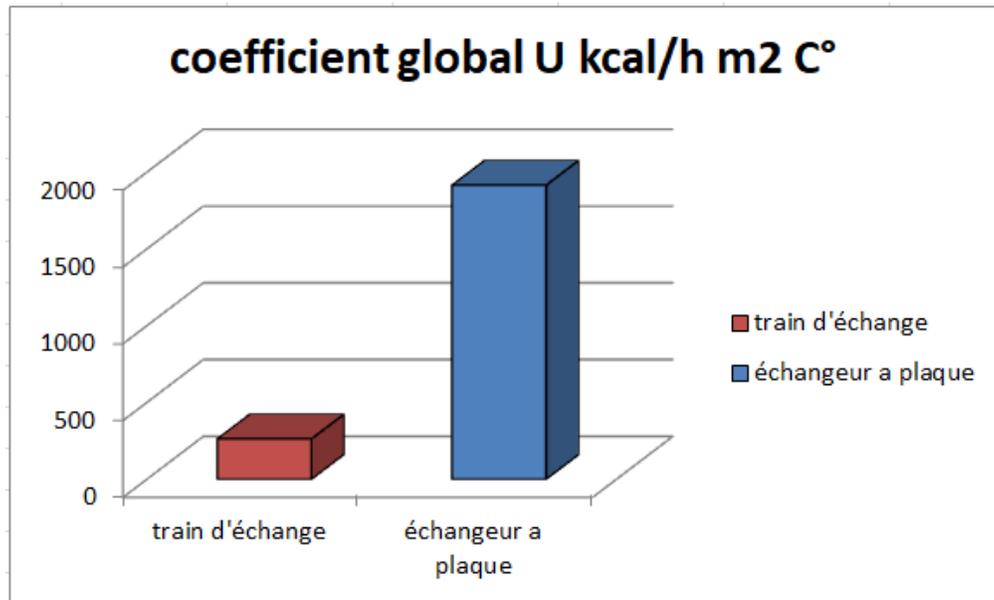


Figure 3.10 Coefficient global U de train d'échange et échangeur à plaque

Il a été constaté que le coefficient global de l'échangeur à plaque est significativement plus élevé que celui du train d'échange. Cela indique que l'échangeur à plaque est plus efficace pour transférer la chaleur entre les fluides en contact, comparé au train d'échange traditionnel. Cette amélioration du coefficient global témoigne de la capacité de l'échangeur à plaque à fournir un meilleur rendement thermique, probablement grâce à une conception qui favorise un transfert de chaleur plus rapide et plus efficace.

Conclusion générale

Pour prendre une décision éclairée concernant le remplacement d'un train d'échange par un échangeur à plaques, il est crucial de réaliser une analyse approfondie des exigences spécifiques du système, des conditions opérationnelles et des objectifs de performance. L'échangeur à plaques offre une efficacité de transfert de chaleur supérieure et une compacité notable, ce qui le rend particulièrement avantageux dans des espaces restreints. En plus de cela, ces échangeurs sont souvent fabriqués à partir de matériaux résistants à la corrosion, adaptés aux conditions de fonctionnement spécifiques, ce qui leur confère une durée de vie prolongée.

Cependant, il est important de noter que malgré ces avantages significatifs, les trains d'échange restent pertinents pour des applications nécessitant une robustesse accrue. En effet, les trains d'échange peuvent offrir une meilleure résistance aux environnements extrêmes et aux conditions de service rigoureuses, où la durabilité et la fiabilité sont primordiales.

Ainsi, le choix entre un échangeur à plaques et un train d'échange doit être personnalisé en fonction de plusieurs facteurs. Il convient de considérer les spécificités de l'application, les contraintes budgétaires, les objectifs de durabilité du système, ainsi que les exigences de maintenance et d'exploitation. Une évaluation minutieuse de ces éléments permettra de déterminer la solution la plus adaptée, garantissant à la fois l'efficacité opérationnelle et la satisfaction des besoins à long terme.

Références Bibliographique

- [1] BONTEMPS. A, GUARRIGUE. A, GOUBIER. C, HUETZ. J, MARVILLET.C, MERCIER. P, VIDIL.R. Echangeurs de chaleur , Technique de l'ingénieur , traité génie énergétique, Références B2340.B2341s
- [2] Wang et al. (2009) les États-Unis
- [3] Kreith, F., & Manglik, R. M. (2016). *Principles of Heat Transfer*. Cengage Learning. "Principles of Heat Transfer"
- [4] ASHRAE. (2016). *ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment*. ASHRAE. "ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment" par American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)
- [5] Kakaç, S., Liu, H., & Pramuanjaroenkij, A. (2012). *Heat exchangers: Selection, rating, and thermal design*. CRC Press. "Heat exchangers: Selection, rating, and thermal design"
- [6] From Raju , K.S.N and jagdish , C.B [1983] in low Reynolds number Flow Heat Exchanger , Hemisphere , Washington , D.C with permission.
- [7] : André BONTEMPS, Alain GARRIGUE, Charles GOUBIER, Jacques HUETZ, Christophe MARVILLET, Pierre MERCIER, Roland VIDIL, « Description des échangeurs », technique de l'ingénieur [B 2 341].
- [8] : Adil Ridha, « Transfert de Chaleur et de Masse », Université de Caen (2009/2010).
- [9] : A.MENIDJEL, « Exploitation des échangeurs à faisceaux et calandre », I.AP/ SPA. SKIKDA (2009).
- [10] : François-D. Vuataz, « Centre de recherche en géothermie », Neuchâtel, Martigny (2008).
- [11] : Philippe LAPLAIGE, Jean LEMALE, « Énergie géothermique », technique de l'ingénieur [BE 8 590].
- [12] : Jacques Varet, Philippe Beutin, Bernard Lajouanie, Philippe Laplaige, Jean Lemale, Alain Desplan, Yves Horel, Laurent Le Bel, Martine Castello, « la géothermie », Les enjeux des géosciences, décembre 2004.
- [13] : André BONTEMPS, Alain GARRIGUE, Charles GOUBIER, Jacques HUETZ, Christophe MARVILLET, Pierre MERCIER, Roland VIDIL, « Dimensionnement thermique », technique de l'ingénieur [B 2 342].
- [14] : J. Brau, « Transfert de Masse et Echangeur de Chaleur », INSA de LYON (2006).

[15] : VITHERM sas, « Échangeur de chaleur à plaques jointées», VT-MAN
1003 France (2005).

[16]: L. Wang, B. Sundén, « Applied Thermal Engineering », Division of Heat Transfer, Lund
Institute of Technology, Sweden 23 (2003) 295–311