



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic Republic of Algeria

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministry of Higher Education and Scientific Research

جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم

Abdelhamid Ibn Badis University - Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculty of Sciences and Technology

قسم هندسة الطرائق

Department of Process Engineering



Department of Process Engineering

The Date

Ref :...../U.M/F.S.T/2023

قسم هندسة الطرائق

التاريخ :

رقم :..... / ج.م.ك.ع.ت//2023

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option : Génie Chimique

Thème

**Amélioration des performances des chillers de l'unité de
déparaffinage au niveau de la raffinerie d'Arzew**

Présenté par

BELOUKRIF Oussama

Soutenu le 05/06/2023 devant le jury composé de :

Président : M^{me} DRIOUCH Aouatef MCA Université de Mostaganem

Examineur : M^{me} MOHAMED SEGHIR Zahira MCB Université de Mostaganem

Rapporteur : M^{me} BENTATA Rachida MCA Université de Mostaganem

Année Universitaire 2022/2023

Remerciements

Mes remerciements vont tout premièrement à Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a donné durant toutes ces années.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance et mes sincères remerciements à ma promotrice M^{me} BENTATA Rachida qui a été d'un grand apport pour la réalisation de ce travail. Ses conseils, ses orientations ainsi que son soutien moral et scientifique m'ont permis de mener à bien ce projet.

Mes remerciements à tous les membres du jury : M^{me} DRIOUCH Aouatef et M^{me} MOHAMED SEGHIR Zahira pour avoir bien voulu examiner et juger ce travail.

J'adresse aussi mes remerciements à tous les enseignants de la faculté spécialement le personnel du département de génie des procédés pour avoir enrichi nos connaissances scientifiques et techniques et en particulier notre spécialité génie chimique

Je remercie vivement l'ingénieur de suivi Mr BENCHOHRA Abdelhafidh pour sa disponibilité, sa compréhension et son soutien. Je tiens à remercier le personnel de la raffinerie d'Arzew, plus particulièrement l'équipe de la zone 05.

Je tiens également à exprimer mes chaleureux remerciements à mes parents, mes sœurs, qui m'ont tous encouragé à mener à bien ce travail.

Dédicace

*Je dédie ce travail aux personnes les plus importantes de ma vie, qui
sont mes parents.*

À mes chères sœurs.

À tous les membres de ma famille.

À tous mes amis.

*À toutes les personnes qui ont contribué de près ou de
Loin à l'élaboration de ce travail.*

ملخص

مصفاة أرزيوهي الوحيدة في الجزائر التي تنتج زيوت التشحيم، و الوحدة 400 (وحدة إزالة الشمع) هي المسؤولة عن معالجة هذه الزيوت بالتخلص من البارافينات. هذه الوحدة لديها مشكلة تبريد في مبادلاتها الحرارية (المبردات)، مما يؤثر على جودة الزيوت.

في دراستنا، أجرينا حسابات مختلفة لتحديد سطح التبادل لجدران الأنابيب الداخلية لهذه المبردات للتحقق والمقارنة. كما كشفنا عن أسباب هذه المشكلة، و طرحنا توصيات لحلها.

الكلمات المفتاحية : زيوت التشحيم، البارافينات، المبردات، سطح التبادل.

Résumé

La raffinerie d'Arzew est la seule en Algérie qui produit les huiles lubrifiantes, et l'unité 400 (l'unité de déparaffinage) est la responsable du traitement de ces huiles en les débarrassant de ses paraffines. Cette unité connaît un problème de refroidissement au niveau de ses échangeurs de chaleur (les chillers), qui affecte la qualité des huiles.

Dans notre étude on a effectué des différents calculs permettant de déterminer la surface d'échange des parois des tubes internes de ces chillers pour la vérification et la comparaison. On a aussi dévoilé les causes de ce problème et posé des recommandations pour sa résolution.

Mots clés : Huiles lubrifiantes, paraffines, chillers, surface d'échange.

Abstract

The Arzew refinery is the only one in Algeria that produces lubricating oils, and unit 400 (the dewaxing unit) is responsible for treating these oils by removing their paraffins. This unit has a cooling problem in its heat exchangers (chillers) which affects the quality of the oils.

In our study, we conducted various calculations to determine the exchange surface of the walls of the internal tubes of these chillers for verification and comparison. We also unveiled the causes of this problem and made recommendations for its resolution.

Key words : Lubricating oils, paraffins, chillers, exchange surface.

Sommaire

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Présentation de la raffinerie d'Arzew

I.1	Historique de la raffinerie	3
I.2	Situation géographique	3
I.3	Mission et objectifs.....	4
I.4	Les capacités annuelles de traitement et de production.....	4
I.5	Différents départements de la RA1Z	6
I.5.1	Département de production P1	7
I.5.1.1	Zone 03 : Les utilités	7
I.5.1.2	Zone 04 : Les carburants	7
I.5.1.3	Zone 07 : Les lubrifiants.....	8
I.5.1.4	Zone 10 : Production de bitumes	8
I.5.1.5	Les Zones de stockage.....	8
I.5.2	Département de production P2	8
I.5.2.1	Zone 05 : Les huiles de base.....	8
I.5.2.2	Zone 19 : Les utilités	8
I.5.3	Département de production P3	9
I.5.3.1	Zone 06 : Production des huiles finies.....	9
I.5.4	Département de production P4	9
I.5.4.1	Zone 28 : Stockage et expédition.....	9
I.5.4.2	Zone 30 : Chargements de produits finis.....	10
I.5.4.3	Zone 27 : Station de traitement des effluents	10
I.5.5	Laboratoire de contrôle.....	10
I.1	Département de sécurité industrielle	10

Chapitre II : Description du procédé de fabrication des huiles de base (zone 5)

II.1	Généralité sur les huiles lubrifiantes.....	11
II.1.1	Définition.....	11
II.1.2	Le rôle des huiles lubrifiantes.....	11
II.1.3	Composition des huiles lubrifiantes	11
II.1.4	Les types des huiles lubrifiantes.....	13

II.1.5	Caractéristiques des huiles	13
II.1.6	Les additifs	14
II.1.6.1	Définition des additifs	14
II.1.6.2	Les types d'additifs.....	14
II.1.6.3	Rôle des additifs	14
II.2	Procédé de fabrication des huiles de base.....	15
II.2.1	Distillation sous vide (Unité 100).....	16
II.2.2	Désasphaltage au propane (unité 200) :.....	17
II.2.3	Extraction au furfural (unité 300) :.....	18
II.2.4	Déparaffinage au Méthyle-Éthyl-Cétone (MEC) / Toluène (Unité 400) :	19
II.2.5	Traitement par hydrogène-hydrofinissage (unité 500) :.....	20
II.3	Description de l'unité de déparaffinage au MEC/ toluène (unité 400).....	21
II.3.1	But de déparaffinage.....	21
II.3.2	Principe du procédé de déparaffinage	21
II.3.3	Choix du solvant.....	22
II.3.4	Caractéristique du solvant MEC/TOLUÈNE :	22
II.3.5	Description du procédé.....	22
II.3.6	Charge et produit :	23
II.3.7	Influence de la nature de la charge :	24
II.3.8	Influence de la composition du solvant	25

Chapitre III : Les échangeurs de chaleur

III.1	Introduction.....	26
III.2	Les différents modes de transfert de chaleur	26
III.2.1	Conduction	26
III.2.2	Convection.....	27
III.2.3	Rayonnement.....	27
III.3	Les échangeurs de chaleur	28
III.3.1	Définition.....	28
III.3.2	Les fonctions des échangeurs de chaleur.....	28
III.3.2.1	Fonction réfrigération	28
III.3.2.2	Fonction chauffage	28
III.3.2.3	Fonction condensation :	29
III.3.2.4	Fonction vaporisation :	29

III.3.3 Principe de fonctionnement.....	29
III.3.4 Modes de circulation	29
III.3.4.1 Échangeur à co-courant	29
III.3.4.2 Échangeur à contre-courant	29
III.3.4.3 Échangeur à courant croisé.....	30
III.3.5 Types d'échangeurs	30
III.3.5.1 Échangeurs à plaques.....	30
III.3.5.2 Échangeurs à tubes (monotubes, coaxiaux ou multitubulaires) [17].....	31
III.4 Échangeurs ou "chiller" à grattoirs.....	32
III.4.1 Dimension-Nombres.....	32
III.4.2 Grattoirs.....	33
III.4.3 Entraînement.....	34

Chapitre IV : Problématique et performances des chillers E403/404

IV.1 Introduction.....	35
IV.2 Présentation du problème	35
IV.3 Vérification des performances des chillers E403A/B/C/D	36
IV.3.1 Les données de base	36
IV.3.2 Schiller E403A	38
IV.3.2.1 Différence moyenne logarithmique de température :	38
IV.3.2.2 Température calorique T_c , t_c	38
IV.3.2.3 Détermination les caractéristiques physico-chimiques à T_c , T_c :	39
IV.3.2.4 La masse volumique (ρ) :	40
IV.3.2.5 La chaleur spécifique (C_p)	40
IV.3.2.6 La conductivité thermique (λ)	41
IV.3.2.7 La viscosité	42
IV.3.2.8 Quantité de chaleur thermique (Q)	43
IV.3.2.9 Calcul du coefficient de transfert de chaleur	43
IV.3.2.10 Calcul du coefficient de transfert propre (U_p).....	45
IV.3.2.11 Calcul du coefficient global sale (U_s) :	45
IV.3.2.12 La Surface d'échange calculé (A_c).....	46
IV.3.2.13 Surface d'échange installée (du design) :	46
IV.3.2.14 La surface d'échange total des chillers E403	47
IV.4 Performances des chillers à propane E404A/B/C/D.....	47

IV.4.1 Différence moyenne logarithmique de température	47
IV.4.2 Détermination la densité d_{15}^{15} des VO, MEC, toluène :	48
IV.4.3 Quantité de chaleur dégagée par le mélange d'alimentation (Q_1)	48
IV.4.4 Détermination de la quantité de chaleur dégagée lors de la cristallisation (Q_2).....	49
IV.4.5 Quantité de chaleur dégagée par le mélange d'alimentation Q	50
IV.4.6 Détermination de la surface d'échange calculée :	50
IV.4.7 Détermination de la surface d'échange total des chillers E404.....	51
IV.4.8 Détermination de la surface d'échange total des chillers E403 et E404	51
IV.5 Détermination du nombre des chillers calculé.....	51
IV.6 Interprétation des résultats	52
Conclusion générale	53

Liste des figures

Chapitre I : Présentation de la raffinerie d'Arzew

Figure I.1 : La raffinerie d'Arzew.....	3
Figure I.2 : Situation géographique de la raffinerie d'Arzew.	4
Figure I.3 : Capacité de production de la raffinerie d'Arzew.	5
Figure I.4 : Le plan de masse de la raffinerie d'Arzew.....	6
Figure I.5 : Laboratoire de la RA1Z.	10

Chapitre II : Description du procédé de fabrication des huiles de base (zone 5)

Figure II.1 : Composition d'un lubrifiant.	11
Figure II.2 : Vue d'ensemble de la zone.	15
Figure II.3 : Chaîne de fabrication des huiles de base au niveau de la zone 5.....	16
Figure II.4 : Schéma de la distillation sous vide.	17
Figure II.5 : Schéma du désasphaltage au propane.	18
Figure II.6 : Schéma d'extraction des aromatiques par le furfural.	19
Figure II.7 : Schéma de déparaffinage.	20
Figure II.8 : Schéma d'hydrofinissage.	21
Figure II.9 : Schéma de l'unité de déparaffinage (U400).	23

Chapitre III : Les échangeurs de chaleur

Figure III.1 : Conduction de chaleur à travers une paroi.	26
Figure III.2 : Phénomène de convection thermique.....	27
Figure III.3 : Phénomène de rayonnement thermique.	27
Figure III.4 : Circulation à co-courant.	29
Figure III.5 : Circulation à contre-courant.....	30
Figure III.6 : Circulation à courant croisé.	30
Figure III.7 : Distribution en U mono passe dans un échangeur à plaque.....	30
Figure III.8 : Figure III.8 : Distribution en Z mono passe dans un échangeur à plaque.....	31
Figure III.9 : Schéma d'un échangeur à plaques.	31
Figure III.10 : Différents types d'échangeurs tubulaires.	32
Figure III.11 : Réfrigérant à grattoirs.	33
Figure III.12 : Arbre et grattoirs.	33
Figure III.13 : Chiller de l'unité 400.	34

Chapitre IV : Problématique et performances des chillers E403/404

Figure IV.1 : La surface d'échange calculée des chillers par rapport au design.....	36
Figure IV.2 : Suivis de la variation de point d'écoulement et température de filtration par rapport au design.	37
Figure IV.3 : Schéma de circuit de la charge et du filtrat.	52

Liste des tableaux

Chapitre I : Présentation de la raffinerie d'Arzew

Tableau I.1 : Capacités annuelles de production	5
--	---

Chapitre II : Description du procédé de fabrication des huiles de base (zone 5)

Tableau II.1 : Composition des huiles et leur structure	12
Tableau II.2 : Caractéristiques physico-chimiques des différents solvants MEC/toluène	22
Tableau II.3 : Les conditions opératoires moyennes d'une unité de déparaffinage	24
Tableau II.4 : Caractéristiques de l'huile déparaffinée.....	24

Chapitre IV : Problématique et performances des chillers E403/404

Tableau IV.1 : Les proportions volumiques de la charge et du filtrat	37
Tableau IV.2 : Températures de la charge (T) et du filtrat (t) au niveau des chillers E403A/B/C/D	39
Tableau IV.3 : Les caractéristiques physico-chimiques à Tc, Tc	42
Tableau IV.4 : Quantité de chaleurs échangée entre la charge et le filtrat	43
Tableau IV.5 : Les résultats de calcul des différents coefficients.....	46
Tableau IV.6 : Les surfaces d'échanges des chillers E403	47
Tableau IV.7 : Températures de la charge (T) et du filtrat (t) au niveau des chillers E404A/B/C/D	48
Tableau IV.8 : Quantité de chaleur dégagée par le mélange d'alimentation Q1	49
Tableau IV.9 : La quantité de chaleur dégagée par le mélange d'alimentation.....	50
Tableau IV.10 : Les surfaces d'échanges des chiller E404	51

Liste des abréviations

- API** : American Petroleum Institute.
- BRA** : Brute Réduit Atmosphérique.
- BRI** : Brute Réduit Importé.
- BS** : Bright Stock.
- BTS** : Base teneur en Soufre.
- CPO** : Centi Poise.
- Cst** : Centi Stok (Unité de viscosité des lubrifiants).
- DAO** : De-Asphalted Oil / huile dés asphaltée.
- DO** : Deparaffined Oil / Huile Déparaffinée.
- HB3** : Huile de Base 3.
- HB4** : Huile de Base 4.
- HSRN** : Heavy Straight Run Naphtha/Naphta lourd.
- HTS** : Haute Teneur en Soufre.
- LPG** : Gaz de Pétrole Liquéfié.
- LSRN** : Light Straight Run Naphtha/Naphta léger.
- MEC** : Méthyl Éthyle Cétone.
- MVO** : Medium Viscous Oil / Huile moyennement visqueuse.
- RA1Z** : Raffinerie d'Arzew.
- RDC** : Rotating Disc Contactor /Contacteur à Disque Rotatif.
- RSV** : Résidu Sous Vide.
- SAE** : Society of Automotive Engineers / Société des Ingénieurs Automobiles.
- SPO** : Spindle Oil / Huile à broche.
- VI** : Indice de Viscosité.
- VGO** : Vacuum Gasoil /Gasoil visqueux.
- VO** : Viscous Oil / Huile Visqueuse

Introduction générale

Introduction Générale

Le pétrole brut est une ressource fossile qui doit être traitée avant d'être utilisée comme carburant ou comme matière première dans de nombreuses industries. Le raffinage du pétrole est donc une étape cruciale dans la production de produits pétroliers. Cette étape consiste en une série de processus de transformation chimique et physique du pétrole brut pour en extraire les composants souhaités.

L'utilisation des produits pétroliers est également indispensable dans les machines en mouvement, telles que les moteurs, les pompes et les compresseurs, qui sont largement utilisées dans l'industrie. Le fonctionnement des machines mécaniques peut causer des frottements entre les pièces métalliques, ce qui peut causer une usure et une détérioration de ces dernières, ce qui peut entraîner des pannes et des dysfonctionnements. Pour éviter ces problèmes, il est important de réduire les frictions métalliques en utilisant un film liquide qui sépare les deux pièces de métal en mouvement, ce processus est appelé lubrification et implique l'utilisation d'huiles lubrifiantes.

Il est important de noter que la production d'huiles lubrifiantes est assurée par une unique raffinerie sur l'ensemble du territoire national, qui est la raffinerie d'Arzew RA1/Z, où on a eu l'opportunité de réaliser notre stage pratique, précisément dans l'unité de déparaffinage des huiles de base au MEK/Toluène U400, zone 5.

Le déparaffinage est un procédé de séparation physique qui vise à éliminer les paraffines, l'unité 400 est responsable de cette opération, elle a pour but d'éliminer les paraffines afin d'améliorer le point d'écoulement des huiles de base.

Malheureusement, cette unité connaît un sérieux problème de refroidissement au niveau des échangeurs. Ces chillers sont responsables du refroidissement des huiles permettant par conséquent à la cristallisation de la paraffine. Après avoir vu les différents procédés de traitement des huiles dans cette unité et comprendre son principe de fonctionnement, les ingénieurs responsables nous ont accompagné dans les calculs de transfert thermique de ces chillers pour déterminer les causes responsables de ce problème.

Pour mener à bien notre étude, on a structuré notre travail comme suit :

Dans le premier chapitre, on donnera une présentation générale de la raffinerie d'Arzew, les zones principales et leurs rôles.

Dans le deuxième chapitre, on donnera une généralité sur les huiles lubrifiantes, ainsi que le procédé de fabrication des huiles de base et le déparaffinage au MEC/toluène.

Le troisième chapitre sera consacré au transfert thermique, les types et le rôle des échangeurs de chaleur.

Le quatrième et le dernier chapitre comportera la problématique, les propriétés d'huile de base (SAE30) et la vérification des performances des chillers de l'unité 400.

On terminera ce travail par une conclusion générale sans oublier de citer quelques perspectives.

Chapitre I :

Présentation de la

Raffinerie d'Arzew

RAIZ

I Présentation de la Raffinerie d'Arzew RA1Z

I.1 Historique de la raffinerie

La raffinerie d'Arzew (figure I.1) est l'une des unités les plus productives impliquées dans le développement du pays, car le traitement et la valorisation locale des richesses de notre sous-sol s'avèrent plus rentables que leur exploitation à l'état brut.

La raffinerie faisait partie du premier plan quinquennal 1970-1973 et sa construction a été confiée à la société japonaise "JAPAN GASOLINE CORPORATION" en collaboration avec l'entreprise SONATRACH. L'activation de ces unités a commencé en juillet 1972. En mars 1973, toutes les raffineries sont mises en service.



Figure I.1 : La raffinerie d'Arzew.

I.2 Situation géographique

La raffinerie d'Arzew RA1/Z est située à 40 kilomètres de la ville d'Oran dans une zone industrielle proche de la ville d'Arzew, facilitant l'exportation de produits industriels le long du golfe de la mer Méditerranée. La raffinerie est localisée précisément le long de la Rue Nationale RN13, à 1 km au sud d'Arzew et environ 1,7 kilomètres à l'ouest de la mer Méditerranée. Elle est considérée comme un complexe industriel important couvrant 170 hectares de la zone industrielle du plateau d'El Mohgoun.

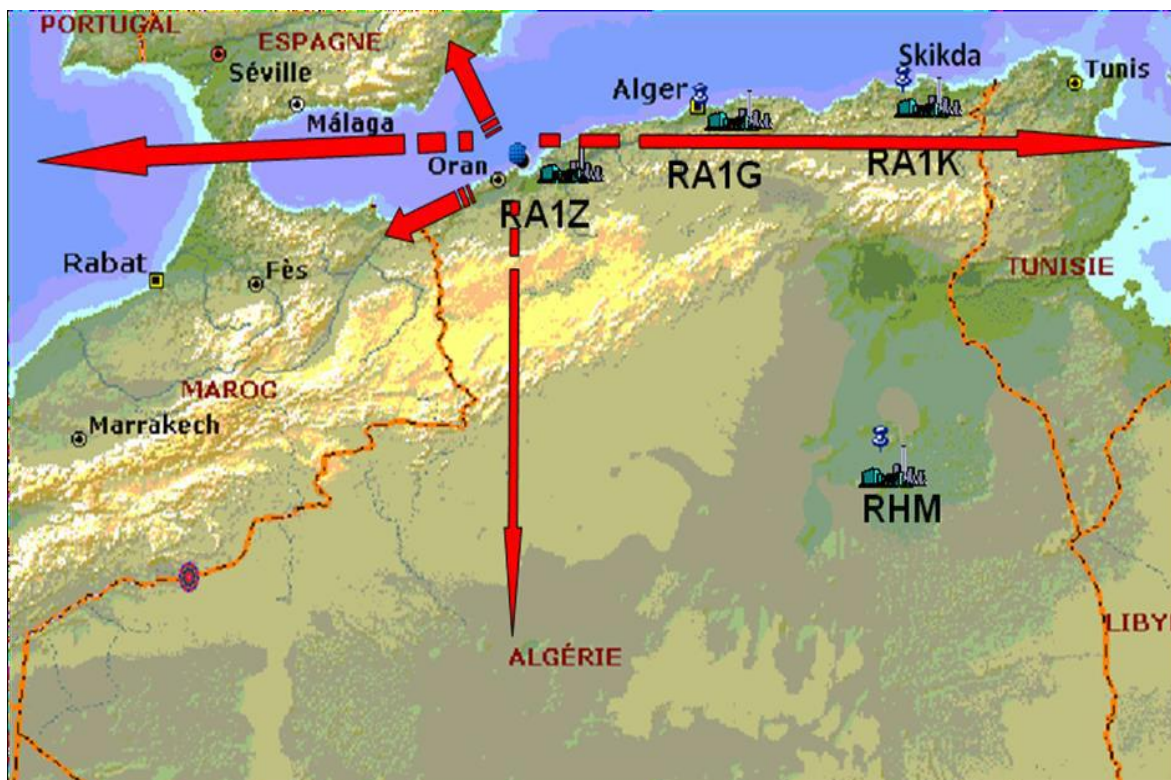


Figure I.2 : Situation géographique de la raffinerie d'Arzew.

I.3 Mission et objectifs

La raffinerie d'Arzew assure une production répondant aux exigences et aux besoins du marché national et international en matière d'énergie et de ses dérivés, et vise à répondre aux exigences suivantes :

- Traiter le pétrole brut de Hassi Messaoud.
- Répondre à l'augmentation de la consommation de carburant sur le marché national.
- Production de produits stratégiques comme les lubrifiants et le bitume.
- Exportation des produits excédentaires (naphta, kérosène, fioul).

I.4 Les capacités annuelles de traitement et de production

La raffinerie d'Arzew traite environ 3,75 millions tonnes/an de pétrole brut de Hassi-Messaoud et 280 000 tonnes/an de pétrole brut réduit importés pour la production de bitume chaque année. Sa production de produits finis et semi-finis est proche de la quantité indiquée dans le tableau I.1.

Tableau I.1 : La Capacités de production de la raffinerie [1].

Produits	Capacité (tonnes/an)
Propane	15000
Butane	70000
Essence super	70000
essence normale	490000
Naphta	160000
Kérosène	120000
Gasoil	980000
Fuel BTS	550000
Fuel HTS	70000
Lubrifiants	160000
Graisses	7000
Paraffine	4000
Bitumes Routiers	120000
Bitumes Oxydes	20000

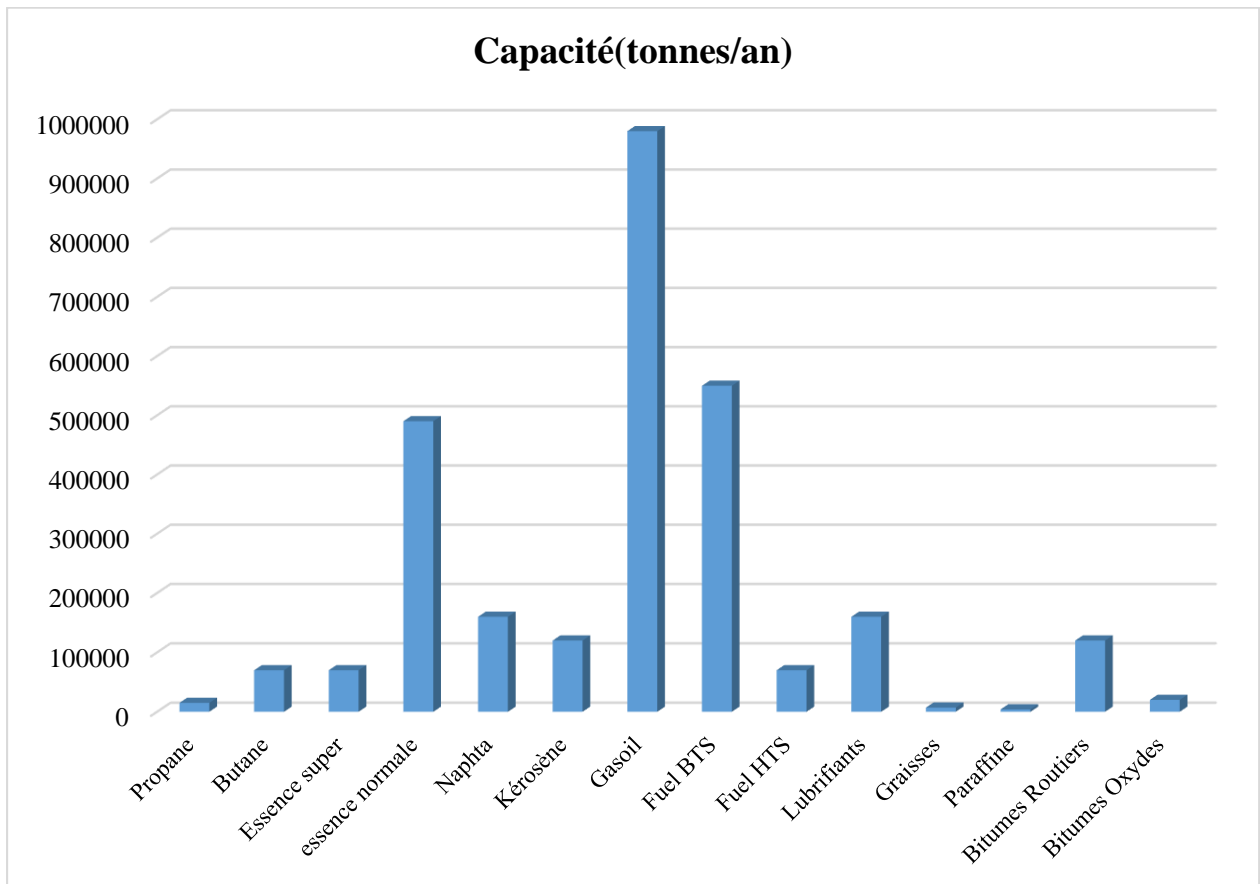


Figure I.3 : Capacité de production de la raffinerie d'Arzew.

I.5.1 Département de production P1

Ce département s'intéresse à la production de carburants, des lubrifiants et les bitumes en traitant le pétrole brut de Hassi Messaoud comme charge et le brut réduit importé (BRI) pour la production des bitumes. Elle est constituée des zones suivantes :

I.5.1.1 Zone 03 : Les utilités

Cette zone est construite pour l'alimentation des autres zones en : air, vapeur, eau, électricité et gaz qui sont très importants pour les unités de traitement. Elle se divise en plusieurs unités :

- **Unité 31** : Elle produit la vapeur d'eau.
- **Unité 32** : Elle produit l'eau distillée qui est utilisé comme eau d'alimentation pour les chaudières.
- **Unité 33** : Distributions d'eau de refroidissement, utilisée pour les opérations de refroidissement des produits.
- **Unité 34** : Production d'électricité qui sert à alimenter les unités de traitement.
- **Unité 35** : Gaz de combustion au niveau des chaudières et des fours.
- **Unité 36** : Productions d'air service et d'air instrument.
- **Unité 67** : Réseaux d'incendie.

I.5.1.2 Zone 04 : Les carburants

Elle comprend 5 unités :

- **Unité 11** : c'est l'unité de distillation atmosphérique. Elle sépare par distillation atmosphérique différents composants contenus dans le pétrole selon leurs densités, du plus léger au plus lourd. Il s'agit :
 - Du gaz de pétrole liquéfié (LPG).
 - Du naphta léger LSRN.
 - Du naphta lourd HSRN.
 - Du kérosène.
 - Du gasoil léger et lourd.
 - Le résidu atmosphérique (BRA).
- **Unité 12** (Reforming catalytique) : elle traite le naphta lourd (HSRN) pour produire une base d'essence à indice d'octane élevé (reformat).
- **Unité 13** (traitement du gaz) : elle traite le gaz obtenu de l'unité 11, 12 et 17 en le séparant en produits purs, tel que le propane et le butane (C_3H_8 , C_4H_{10}).
- **Unité 17** (l'isomérisation) : elle traite le naphta léger (LSRN) pour améliorer l'indice d'octane.

- **Unité 18** (l'unité du système de l'huile chaude) : fournit la chaleur par fluide caloporteur pour les unités 11 et 17.

I.5.1.3 Zone 07 : Les lubrifiants

Cette zone a pour but la fabrication des huiles de base à partir de BRA venant du topping (unité 11), sa capacité de production est de 50 000 T/an. Elle comprend les unités suivantes :

- **Unité 20** : stockage des huiles semi finies
- **Unité 21** : unité de distillation sous vide.
- **Unité 22** : unité de désalphaltage au propane.
- **Unité 23** : unité d'extraction au furfural.
- **Unité 24** : unité de déparaffinage des huiles au MEC/toluène.
- **Unité 25** : unité d'hydrofinissage.

I.5.1.4 Zone 10 : Production de bitumes

Cette zone concerne la production des bitumes routiers et oxydé, elle comprend deux unités ; l'unité 14 et l'unité 15.

I.5.1.5 Les Zones de stockage

Les zones de stockage sont :

- Zone 08 et 09 : stockage du résidu atmosphérique dans deux bacs.
- Zone 11,12 et 13 : stockage du brut de Hassi-Messaoud ; trois bacs de 60000T et deux bacs de 50000T.
- Zone 31 : Contient une torche P1.

I.5.2 Département de production P2

Ce département est réservé pour les huiles et les lubrifiants. Il comprend trois principales zones :

I.5.2.1 Zone 05 : Les huiles de base

Elle a les mêmes tâches que la zone 7. En plus de ça il y a une unité 150 de l'huile caloporteur.

I.5.2.2 Zone 19 : Les utilités

Elle assure le bon fonctionnement de la chaîne de production des huiles de base ; elle comprend les unités suivantes :

- **Unité 1100** : production de vapeur.
- **Unité 1200** : production de l'énergie électrique.
- **Unité 1300** : tour de refroidissement des eaux.
- **Unité 1400** : gaz de combustion.
- **Unité 1500** : production d'air comprimé (air instrument et air de service).

- **Unité 1600** : traitement et production d'eau distillée et déminée.
- **Unité 1700** : réseau de torche P2.
- **Unité 1800**: traitement des effluents.
- **Unité 280** : production de gaz inerte.

I.5.3 Département de production P3

Ce département fait suite à la nouvelle réorganisation au niveau de la production. Il comprend:

I.5.3.1 Zone 06 : Production des huiles finies

Elle est conçue pour le mélange et le conditionnement des huiles finies à partir des huiles de base fabriquées dans cette première chaîne de production. Les mélanges des huiles de base sont réalisés avec des additifs pour améliorer les caractéristiques.

Le lubrifiant est conditionné dans des fûts de 200 litres. La gamme des lubrifiants se compose de :

- huile pour moteur.
- huile industrielle.
- huile de graissage.
- Huile hydraulique.
- huile de coupe.
- graisses industrielles. Elle comprend les unités suivantes :

Unité 3000 : Production des huiles finies et des graisses

Elle est destinée à fabriquer des huiles finies à partir des huiles de base fabriquées dans les unités 100 à 500 et des additifs importés. Les grades d'huiles fabriquées sont :

- Huiles pour moteurs (Essence, Diesel, Huiles pour transmission).
- Huiles industrielles [hydraulique (TISKA), turbines (TORBA), engrenage (FODDA), compresseur (TORADA), et huiles divers].

Unité 3900 : Production des huiles finies

Elle est réalisée en 1997, elle assure les mêmes tâches que l'unité U3000.

I.5.4 Département de production P4

Il comprend :

I.5.4.1 Zone 28 : Stockage et expédition

C'est une zone de stockage des matières premières, des mélanges, des expéditions et des produits semi-finis et finis, ainsi que le pétrole brut.

I.5.4.2 Zone 30 : Chargements de produits finis

Ce secteur est spécialisé dans le chargement de carburant (essence, gaz, etc.) dans les camions et les wagons.

I.5.4.3 Zone 27 : Station de traitement des effluents

Cette zone sert à la récupération et au traitement des eaux usées.

I.5.5 Laboratoire de contrôle

Le laboratoire est responsable du contrôle de la qualité de l'eau, de l'analyse des rejets, de l'analyse des produits semi-finis et finis de chaque unité et de la délivrance des certificats de qualité attestant que le produit est conforme aux spécifications éventuellement adoptées et établies avant le transfert ou expédition des produits finis.



Figure I.5 : Laboratoire de la RA1Z.

I.1 Département de sécurité industrielle

Le complexe RA1Z dispose d'un service de sécurité pour faire face aux dangers et risques permanents qui peuvent survenir. Ces risques peuvent être : explosion, incendie, empoisonnement, choc électrique.

Ce département comprend 3 services :

- Service surveillance.
- Service prévention.
- Service intervention.

Chapitre II :
Description du
procédé de fabrication
des huiles de base
(Zone 05)

II.1 Généralité sur les huiles lubrifiantes

II.1.1 Définition

Les huiles lubrifiantes sont des fractions pétrolières non énergétiques, visqueuses à haut point d'ébullition obtenues à partir du résidu atmosphérique dans une colonne sous vide. Ce sont des substances de nature onctueuse d'une couleur claire, elles peuvent être liquides, semi-plastiques ou solides [3]. Ils sont fabriqués à partir d'un mélange d'huiles de base (80%-90%) et d'additifs (10%-20%) qui confèrent aux produits finis des propriétés physico-chimiques selon le domaine d'application.

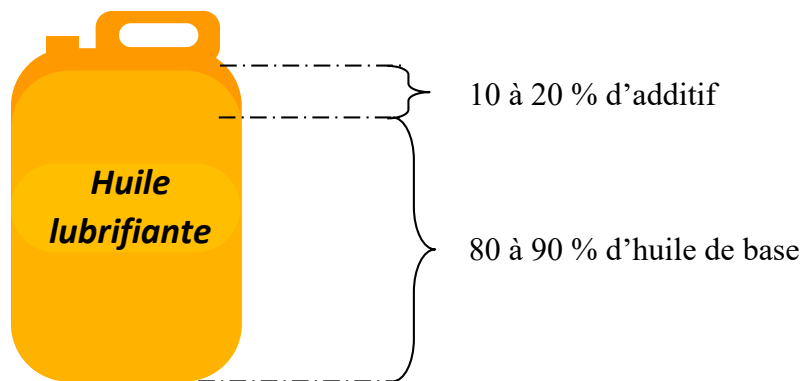


Figure II.1 : Composition d'un lubrifiant.

II.1.2 Le rôle des huiles lubrifiantes

- Réduire les frottements entre les pièces métalliques et par conséquent économiser de l'énergie
- La protection contre la corrosion.
- Le refroidissement des machines.
- Transmettre de l'énergie dans les systèmes hydrauliques.
- Transmettre de l'énergie thermique comme fluide caloporteur.
- Absorber les chocs et réduire le bruit.
- Assurer l'isolation électrique.
- Améliorer l'état de surface des pièces usinées.

II.1.3 Composition des huiles lubrifiantes

Afin de conférer aux lubrifiants des caractéristiques spécifiques pour une application donnée, des additifs sont ajoutés à un ingrédient principal appelé la "base". Cette dernière peut être minérale (d'origine pétrolière) ou synthétique [4].


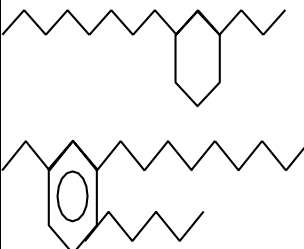
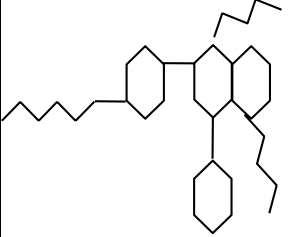
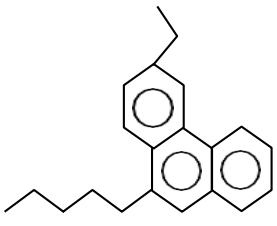
- **Bases minérales**

Les huiles minérales proviennent de la distillation du pétrole brut.

- **Bases synthétiques**

Les bases synthétiques sont obtenues à partir de produits pétrochimiques simples par synthèse chimique. Par rapport aux bases minérales, elles ont une structure plus définie, ce qui permet d'ajuster certaines de leurs propriétés. Ces bases incluent les silicones, les polyalphaoléfines (PAO), les polyéthylène glycols...

Tableau II.1: Composition des huiles et leur structure.

Famille d'hydrocarbures	Structure type	Propriétés principales	
		Recherchées	Nuisibles
Paraffines en chaîne droite		- Point d'écoulement élevé. - Bonne résistance à l'oxydation.	- Indice de viscosité élevée.
Paraffines ramifiées et paraffines avec peu de cycles		- Bonne résistance à l'oxydation. - Point d'écoulement Bas.	- Indice de viscosité bon à élevé.
Naphténiques		- Bonne résistance à l'oxydation. - Point d'écoulement bas.	- Indice de viscosité faible.
Aromatiques		- Point d'écoulement généralement bas. - Très mauvaise résistance à l'oxydation.	- Indice de viscosité bas.

II.1.4 Les types des huiles lubrifiantes

Les types principaux sont :

- **Huiles pour moteurs et machines**

Des huiles à faible variation de viscosité avec la température (huile à haut indice de viscosité) sont nécessaires pour les moteurs d'avions et les automobiles fonctionnant dans des conditions difficiles, ainsi que pour des machines soumises à de larges variations de température [5]. Pour les moteurs stationnaires fonctionnant en mode permanent, des huiles dont la viscosité varie fortement avec la température (huiles à faible indice de viscosité) peuvent être utilisées. Des huiles de viscosités très différentes sont utilisées pour couvrir toute la gamme des besoins, des huiles de type SPINDLE (huiles légères) pour les machines de précision aux huiles assurant la lubrification des machines les plus lourdes.

- **Huiles isolantes**

Elles sont utilisées pour les transformateurs et condensateurs [6]. Ces huiles doivent pouvoir supporter une différence de potentiel importante, leur constante diélectrique [7] est une propriété importante.

- **Huiles noires**

Ce sont des huiles de qualité inférieure utilisées pour des usages grossiers [8] (essieux de wagon par exemple).

Huiles de vaseline ou huiles blanches

Ces huiles sont utilisées à des fins pharmaceutiques [9].

- **Huiles de coupes**

Considérée comme un fluide d'usinage, l'huile de coupe permet de lubrifier et refroidir des pièces métalliques [10]. On s'en sert essentiellement pour la production de pièces et le travail des métaux. Elle évite l'altération des pièces, leur oxydation, voire leur casse. De même, elle veille à préserver la fatigue mécanique des outils et de leurs organes de fonctionnement en limitant l'échauffement lors du travail.

II.1.5 Caractéristiques des huiles

Les principales caractéristiques recherchés pour les huiles de base sont les suivantes :

Viscosité : C'est une caractéristique importante pour les lubrifiants, en effet, elle est permet l'établissement d'un film d'huile évitant ainsi le frottement métal sur métal de deux pièces en mouvement l'une par rapport à l'autre.

Indice de viscosité : L'indice de viscosité est une caractéristique utilisée pour indiquer les variations de la viscosité des huiles lubrifiantes en fonction de la température.

Point d'écoulement : C'est la basse température à laquelle l'huile coule encore. (ou c'est la plus basse température au-dessous de laquelle l'huile cesse de couler).

Point d'éclair : Le point d'éclair est la température la plus basse à laquelle un mélange huile-vapeur-air devient inflammable.

Stabilité : L'huile doit conserver le plus longtemps possible ses propriétés initiales.

Couleur : C'est un critère de la qualité de fractionnement des huiles, son intensité est fonction du degré de raffinage.

Résistance à l'oxydation : C'est la dégradation des caractéristiques des huiles sous l'influence de l'oxygène et de la température [4].

II.1.6 Les additifs

II.1.6.1 Définition des additifs

Les additifs sont des composants chimiques d'une grande variété, capable d'accroître la performance des huiles lubrifiantes. Ils sont vendus au marché sous leurs formulations commerciales, à base des métaux (Zn, Cu, Fe...)

II.1.6.2 Les types d'additifs

- Additifs de viscosité.
- Additifs dépressifs.
- Additifs anti-usures.
- Additifs antifrictions.
- Additifs anticorrosifs.
- Additifs anti-mousses.
- Additifs abaissant le point de congélation.
- Additifs antioxydants.
- Additifs dispersants.
- Additifs détergents.

II.1.6.3 Rôle des additifs

- Retarder l'oxydation ;
- Augmenter l'indice de viscosité ;

- Augmenter les propriétés d'écoulement à froid ;
- Améliorer la qualité des films de la lubrification dans les conditions de pression extrême ;
- Maintenir la propreté des pièces des moteurs ;
- Réduire la mousse ;
- Former des émulsions huile/eau stable ;
- Accroître la capacité perméable du métal.

II.2 Procédé de fabrication des huiles de base

La zone 5 assure la production des huiles de base de type SPO, SAE10, SAE30 et BS. La capacité de production est de 120 000 tonnes/an. Elle se compose de deux compartiments HB3 et HB4.

Le compartiment **HB3** est composé de :

- **Unité 100** : distillation sous vide.
- **Unité 200** : désasphaltage au propane.
- **Unité 300** : extraction au Furfural.

Le compartiment HB4 comprend :

- **Unité 400** : déparaffinage au MEC/Toluène.
- **Unité 500** : hydrofinissage.
- **Unité 600** : hydrogénation des paraffines.



Figure II.2 : Vue d'ensemble de la zone 5.

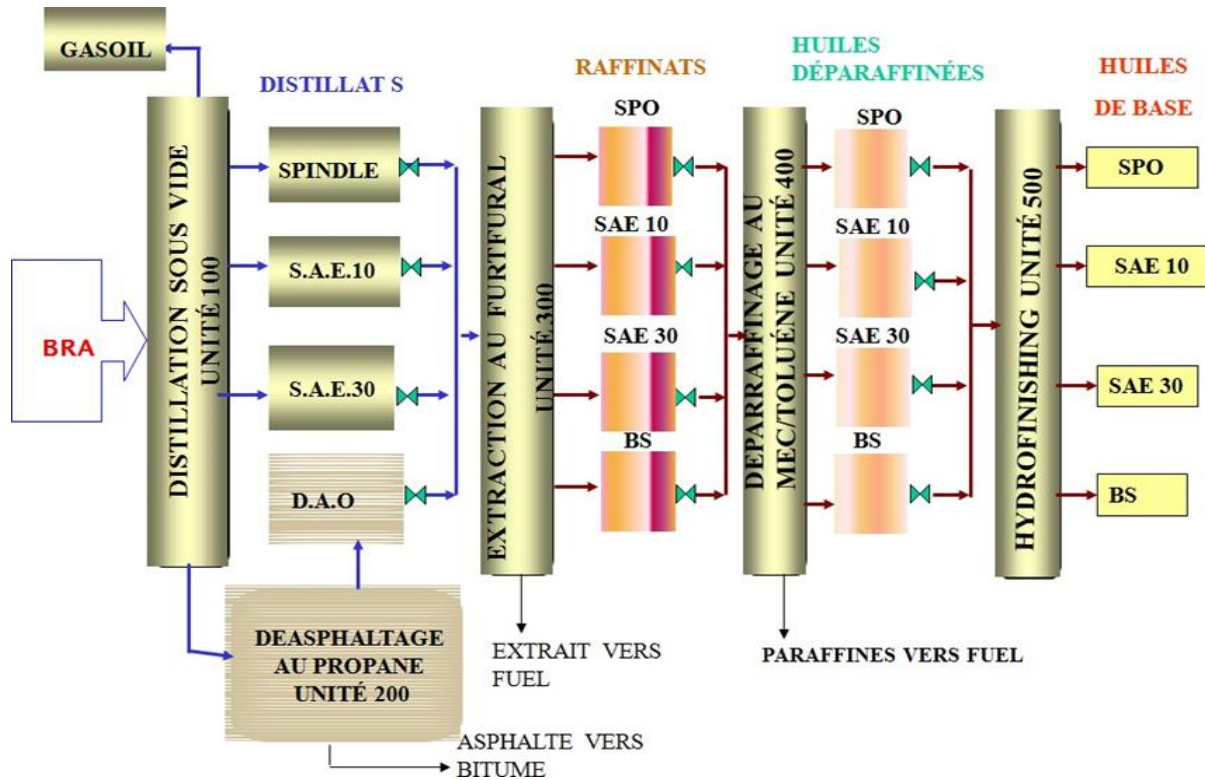


Figure II.3 : Chaîne de fabrication des huiles de base au niveau de la zone 5.

II.2.1 Distillation sous vide (Unité 100)

La distillation sous vide a pour but d'extraire du résidu atmosphérique (BRA) issu du fond de la colonne de distillation atmosphérique des coupes de distillats destinées à alimenter des unités de conversion afin de produire des produits à haute valeur.

Les coupes recherchées sont :

- ✓ Spindle ou huile légère (SPO).
- ✓ SAE10 ou huile mi-visqueuse (MVO).
- ✓ SAE30 ou huile visqueuse (VO).
- ✓ RSV ou résidu sous vide qui est un résidu noir recueilli dans le fond de la colonne qui présente une charge pour la fabrication d'une huile lubrifiante très visqueuse appelée Bright stock (BS).

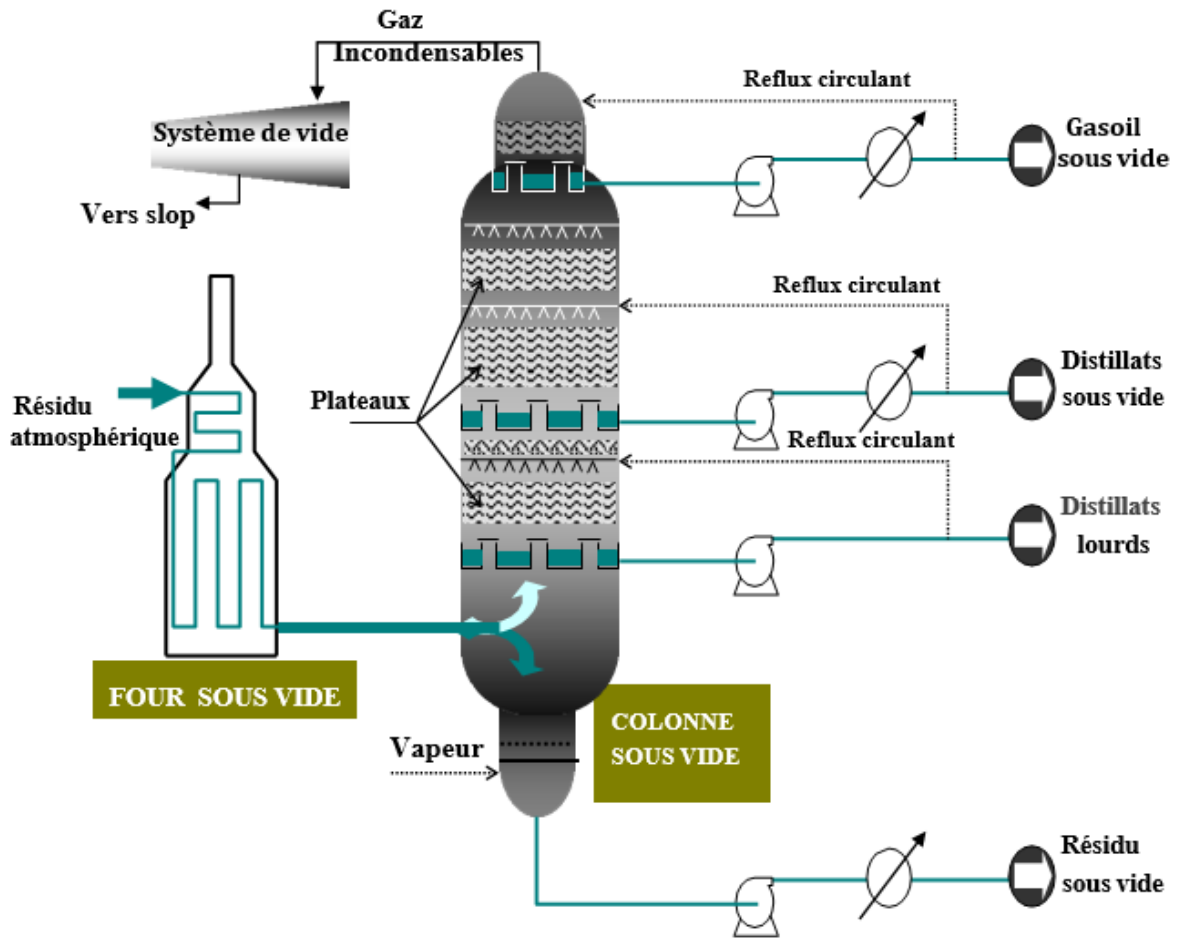


Figure II.4 : Schéma de la distillation sous vide.

II.2.2 Désasphaltage au propane (unité 200) :

Le but de l'unité de désasphaltage est de séparer les asphaltènes et les résines contenus dans le résidu sous vide, cette opération fournit un brai asphaltique précipité par le propane et une phase huileuse claire, bien désasphaltée et épaisse dissoute dans le même solvant.

Le résidu sous vide provenant de l'unité précédente est introduit dans la colonne d'extraction rencontre un courant ascendant de propane liquide qui dissout les fractions huileuses.

L'asphalte, insoluble et de forte densité, décante dans le fond de l'extracteur est soutiré continuellement. À la partie supérieure de l'extraction sort la solution diluée d'huile dans le propane.

L'huile visqueuse brute (DAO) obtenue dans cette unité est ensuite soumise aux étapes ultérieures du raffinage. Le schéma simplifié d'une unité de désasphaltage est représenté en figure II.2.4.

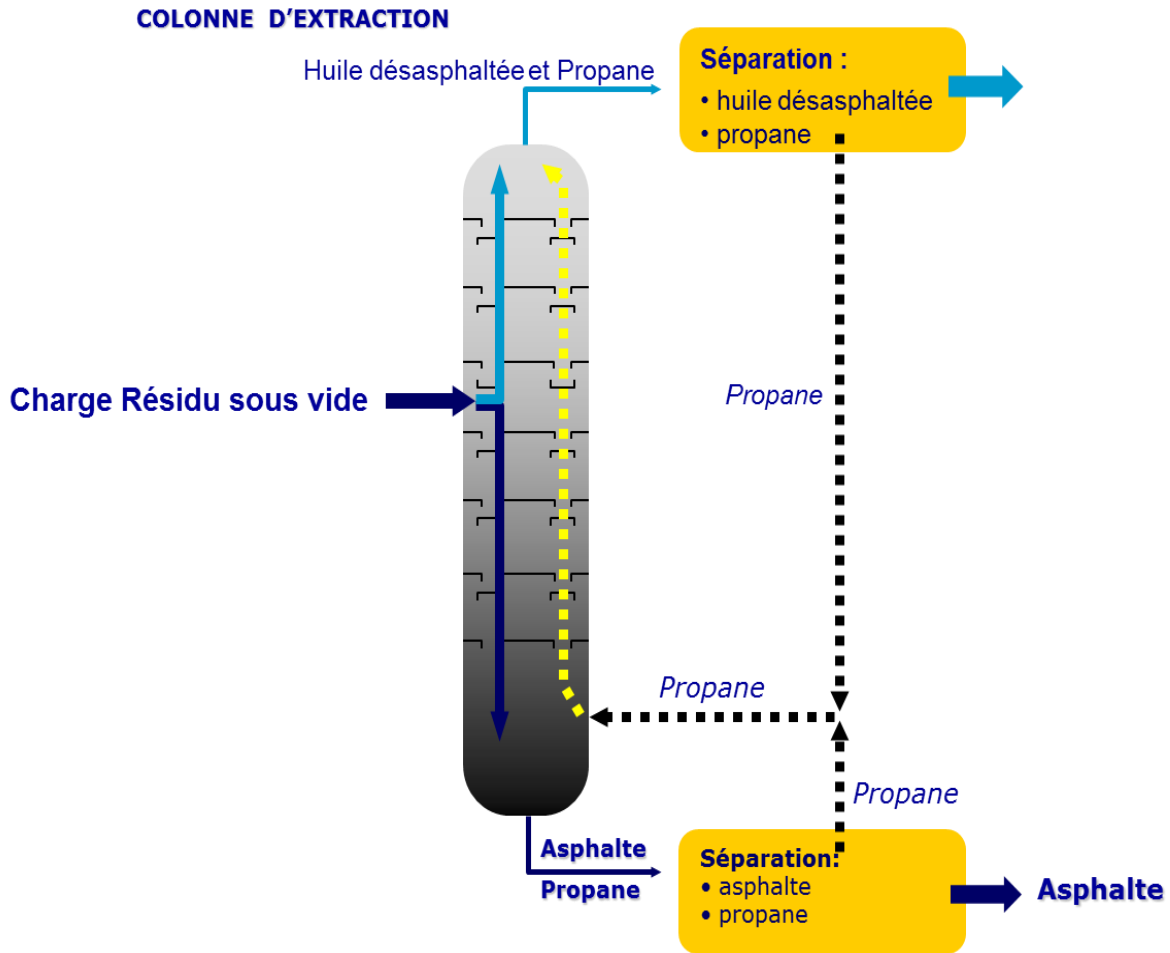


Figure II.5 : Schéma du désasphaltage au propane.

II.2.3 Extraction au furfural (unité 300) :

L'extraction sélective des produits aromatiques est effectuée pour améliorer l'indice de viscosité à une valeur VI=95. Cette unité a pour but d'éliminer les aromatiques dans les huiles lubrifiantes de leur base de l'indice de viscosité.

Cette unité traite successivement les différentes coupes d'huiles de basse (SPO, MVO, VO, BS) en fonction des commandes du marché avec le furfural. Chaque huile constituée d'un grand porté de paraffine et aromatique, dont la viscosité varie beaucoup avec la température, qui présente un indice de viscosité faible due à la présence des aromatiques. Le furfural est utilisé pour extraire ces aromatiques.

Le furfural est un solvant organique qui a une fonction aldéhyde. Il est difficile à récupérer, car il est sensible à l'air, à l'eau, à la température et surtout aux oxydes (acides). On

obtient donc par extraction au furfural deux phases : un extrait riche en aromatique et un raffinat pauvre en aromatiques.

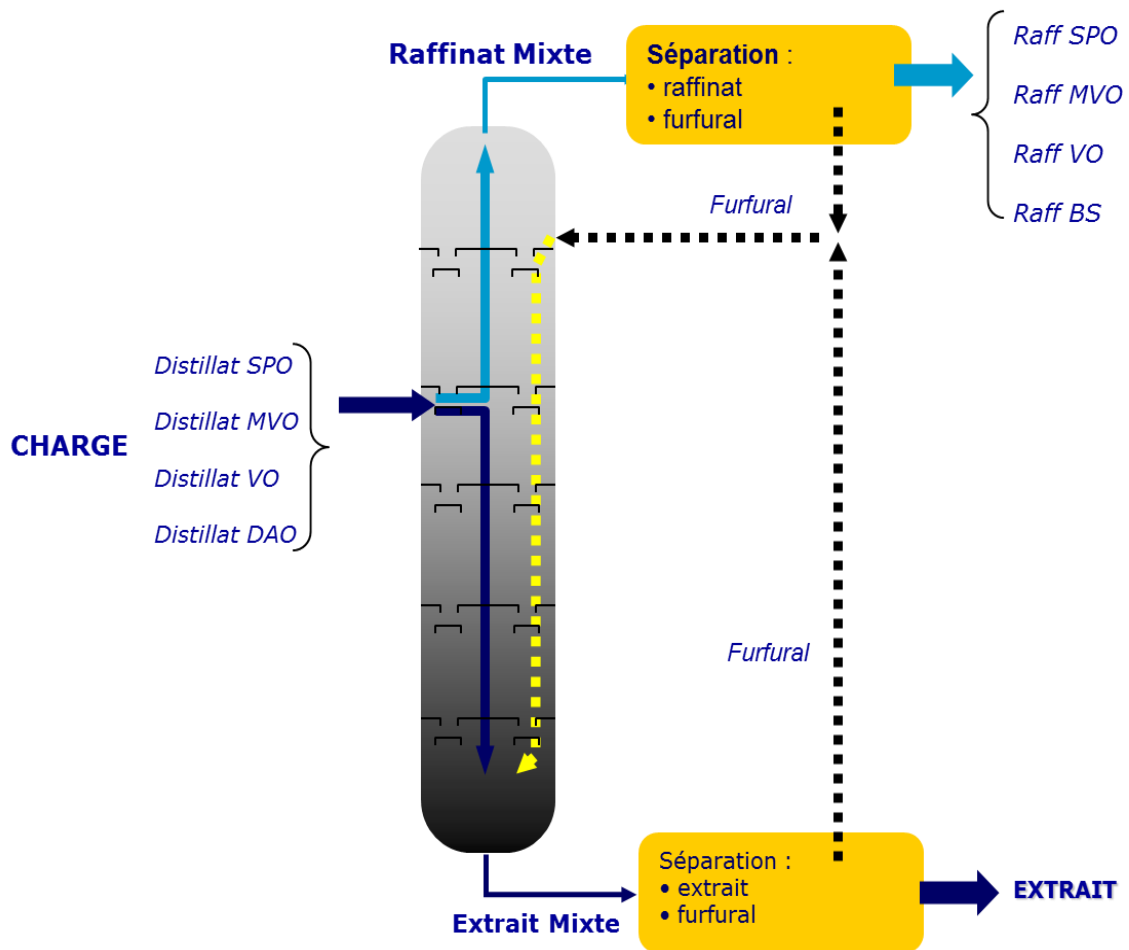


Figure II.6: Schéma d'extraction des aromatiques par le furfural.

II.2.4 Déparaffinage au Méthyle-Éthyl-Cétone (MEC) / Toluène (Unité 400) :

La fabrication d'huiles à bas point d'écoulement nécessite l'élimination des éléments paraffiniques lourds ou des paraffines cristallisables. Selon que le déparaffinage est effectué sur des distillats légers ou des distillats lourds, on obtient de la paraffine ou du pétrolatum [4].

Le déparaffinage (figure II.6) consiste à éliminer les molécules à haut point de congélation ; ce sont les molécules paraffiniques à chaînes droites ou ramifiées qui se cristallisent à basse température.

La méthode utilisée est le refroidissement et l'utilisation du solvant MEC/toluène.

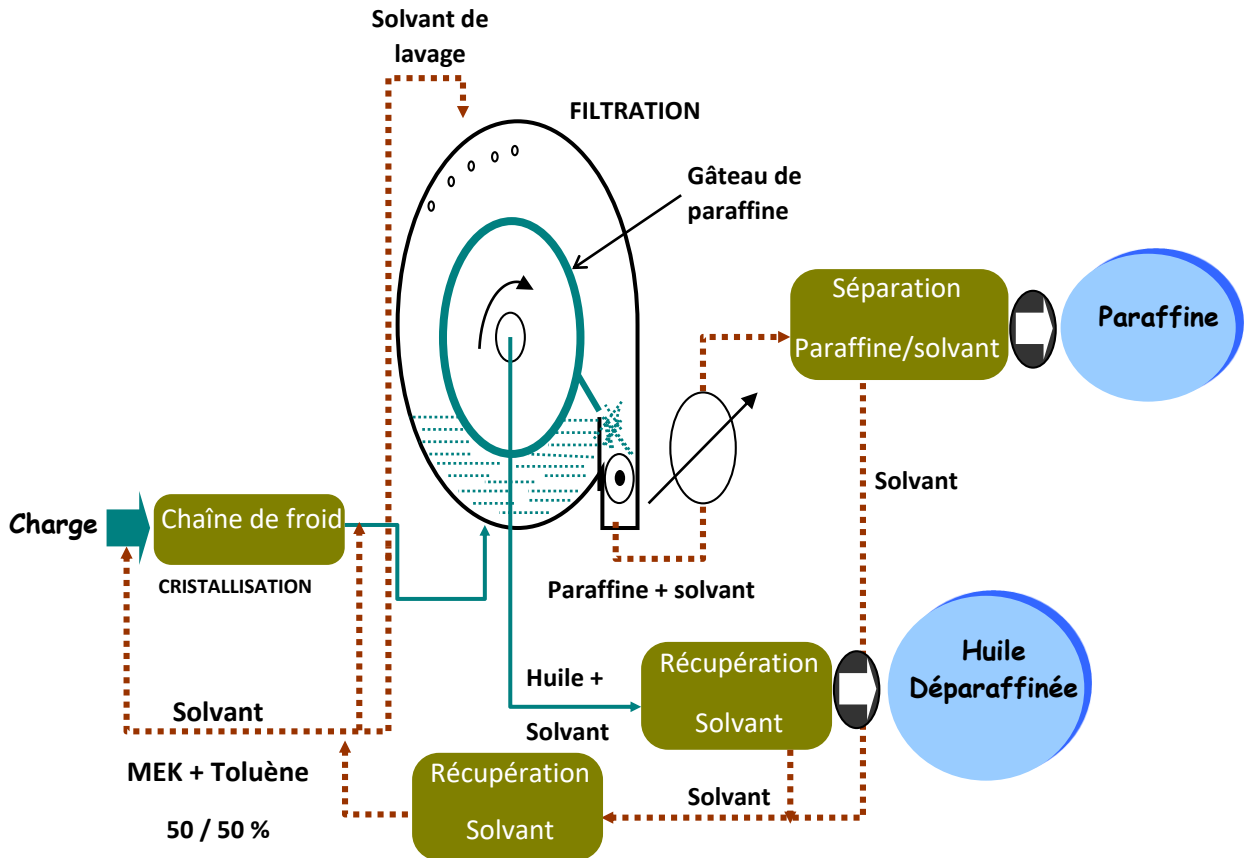


Figure II.7 : Schéma de déparaffinage.

II.2.5 Traitement par hydrogène-hydrofinissage (unité 500) :

Le traitement consiste à faire passer l'huile et l'hydrogène injectés à travers un lit catalytique sous des conditions modérées de température et de pression. La réaction de décoloration et d'amélioration de la résistance à l'oxydation prend place.

Le but de cette unité est :

- Stabiliser la couleur due à l'élimination des insaturés, du soufre et de l'azote.
- Assurer la résistance à l'oxydation aux températures élevées aussi il permet d'atténuer l'odeur.
- Éliminer les traces d'humidité (H₂O) et minimiser la teneur en impureté.

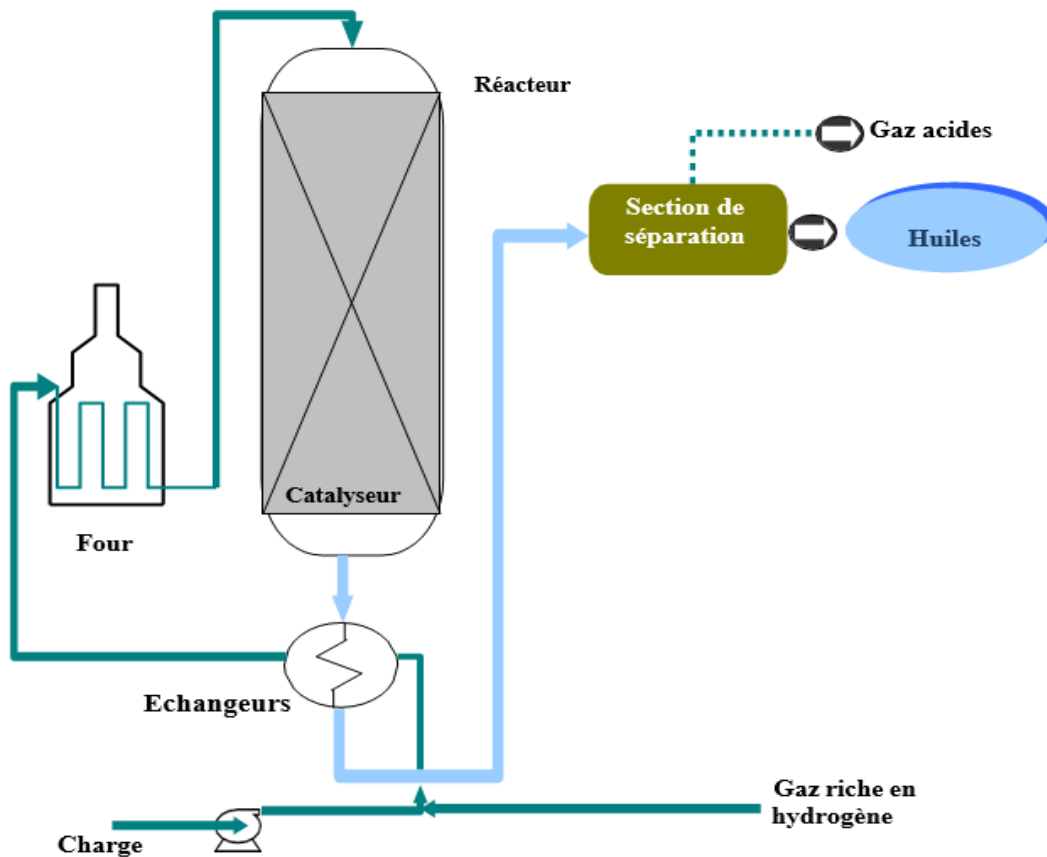


Figure II.8: Schéma d'hydrofinissage.

II.3 Description de l'unité de déparaffinage au MEC/ toluène (unité 400)

L'unité 400 effectue le déparaffinage de l'huile et la fabrication de la paraffine dure.

Les raffinats traités sont (Spindle, MVO, VO, BS) issues de l'unité 300. Le but de l'unité est de fabriquer l'huile de base à bas point d'écoulement et une gamme de paraffine à point de fusion élevé et de faible teneur en huile.

II.3.1 But de déparaffinage

Le but de l'unité de déparaffinage est de réduire le point de trouble et le point d'écoulement de l'huile de base en sortie de l'unité d'extraction, en débarrassant les molécules de la paraffine à haut point de cristallisation. À cet effet, la méthode utilisée consiste en une cristallisation par refroidissement de ces paraffines (phase solide) puis les séparer des huiles (phase liquide) par filtration.

II.3.2 Principe du procédé de déparaffinage

Le procédé utilise la différence de solubilité de l'huile et de la paraffine dans un solvant composite de toluène et de méthyle-éthyl-cétone (MEC, toluène), le MEC cristallise la

paraffine, et le toluène dissout l'huile. La charge mélangée au solvant est refroidie jusqu'à la température de filtration -24 °C qui laisse les paraffines en forme de cristaux insoluble qui sont séparés en continu par des filtres rotatifs.

II.3.3 Choix du solvant

Le mélange le plus utilisé est celui du toluène et de La méthyle-éthyle-cétone.

- Le toluène a un bon pouvoir solvant pour l'huile et la paraffine même à basse température.
- La méthyle-éthyle-cétone (MEC), composé polaire ne dissout pas très bien l'huile, mais elle Précipite très bien la paraffine. On appelle ce corps un anti-solvant

II.3.4 Caractéristique du solvant MEC/TOLUÈNE :

Les caractéristiques physico-chimiques des différents solvants utilisés dans le déparaffinage des huiles de base de la raffinerie d'Arzew sont données dans le tableau II.2.

Tableau II.2 : Caractéristiques physico-chimiques des différents solvants MEC/toluène [11].

Formule chimique développée	C ₂ H ₅ -CO-CH ₃	C ₆ H ₅ -CH ₃
Masse moléculaire (g/mol)	72	92
Densité d ₄ ²⁰	0,805	0,867
Température d'ébullition à pression Atmosphérique (°C)	79,6	110,6
Point d'éclair (°C)	6,1	4,4
Température d'auto inflammation (°C)	516	552

II.3.5 Description du procédé

La charge (huile paraffinée) introduite dans l'unité (Figure II.8) par la pompe P-401 est mélangée avec du solvant humide par la pompe P-402. Le mélange est chauffé dans l'échangeur E-401 pour homogénéiser la solution, puis refroidi dans l'aéroréfrigérant E-402 . Le mélange est séparé en deux courants ; l'un est contrôlé par le débit, et l'autre sous le contrôle de la pression. Chacun de ses courant entre dans deux échangeurs (chillers) montés en série E403-A/B/C/D, qui sont constitués essentiellement par deux tubes coaxiaux. Le mélange est introduit dans le tube interne du chiller , il est refroidi par l'huile déparaffinée froide qui s'écoule dans le tube externe . Après cela, le courant résultant pénètre dans deux chillers au propane monté en série E404-A/B/C/ où ils sont refroidis.

Une deuxième dilution de solvant sec est contrôlée en débit et introduite soit avant soit après, soit au milieu du dernier chiller. Le mélange venant des réfrigérants est accumulé dans le ballon D-401 puis il est envoyé vers les filtres F-401A/B/C/D, l'huile déparaffinée passe sous l'action du vide à travers les filtres constitués par un tissu et s'écoule vers le ballon D-405, un couteau fixe détourne le gâteau de paraffine vers un convoyeur à vis qui le pousse dans un accumulateur de paraffine, ce gâteau dénommé gant, est réchauffée et fondu afin d'obtenir un mélange pompable. Il est repris par une pompe P-407, chauffée dans l'échangeur E-413 où la paraffine en suspension est fondue et mise en solution et envoyée dans le bac TK-402. l'huile déparaffinée est envoyée vers l'unité de l'hydrofinissage.

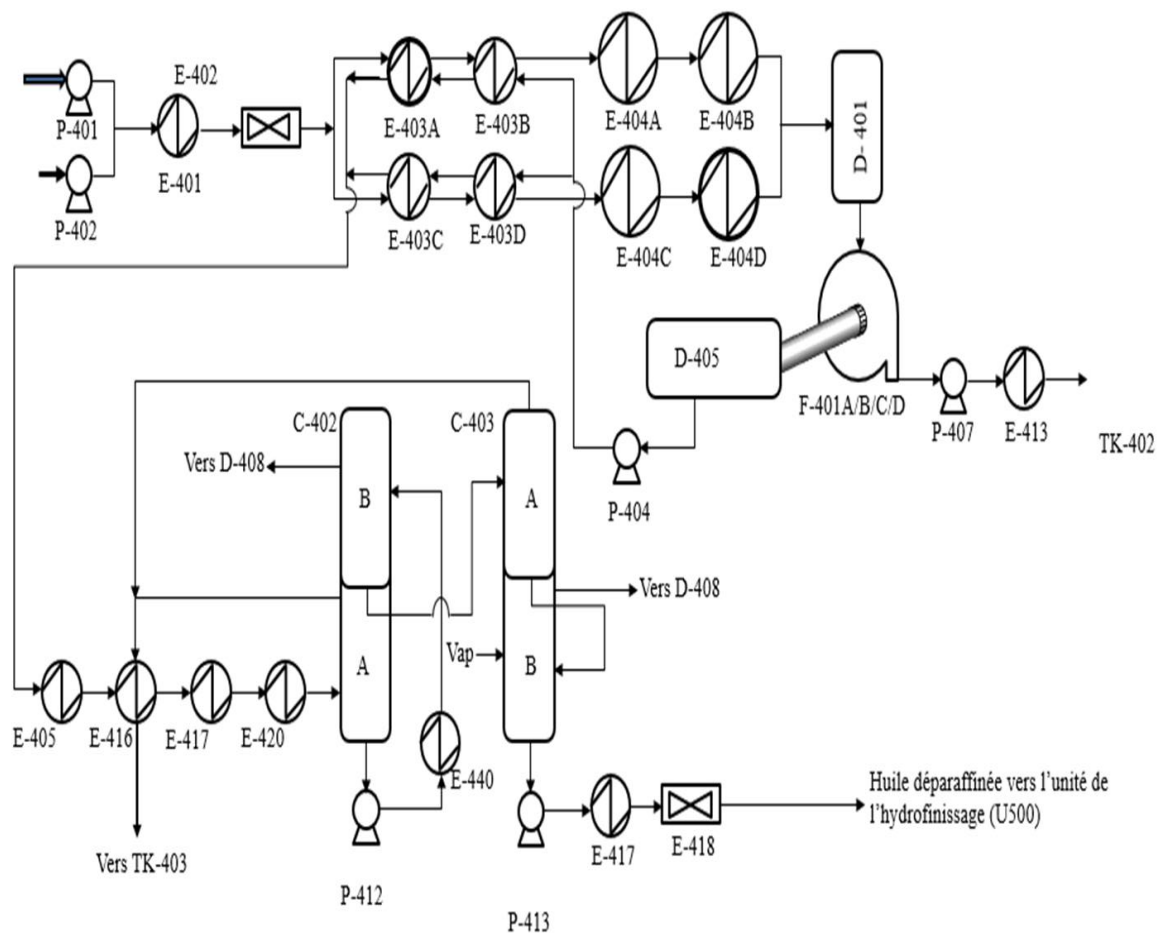


Figure II.9 : Schéma simplifié de l'unité de déparaffinage (U400).

II.3.6 Charge et produit :

La charge de l'unité de déparaffinage est le "raffinat", qui provient de l'unité d'extraction des aromatiques.

Les produits résultants de l'opération de déparaffinage sont :

- L'huile déparaffinée.

- Un produit paraffineux appelé « Gatch » ou « Slack wax ».

II.3.7 Influence de la nature de la charge :

La nature de la charge a une importance prépondérante sur les résultats du déparaffinage. Les résultats de l'étape de filtration sont directement liés au type de cristaux de paraffine formés, lui-même dépendant fortement de la structure chimique de la charge.

Ainsi, plus la charge sera visqueuse, plus les cristaux seront de type microcristallin (très petit taille), rendant la filtration plus difficile. Les coupes lourdes issues de la distillation sous vide seront donc plus difficiles à traiter que les coupes légères et par conséquent les débits de charge d'une unité de déparaffinage seront sensiblement plus faibles avec des distillats visqueux. Les distillats de faible viscosité (soutirés en tête de colonne de distillation sous vide) sont appelés « Light neutral », les distillats de plus forte viscosité (soutirés en bas de colonne de distillation sous vide) sont appelés « Heavy neutral ».

Le résidu sous vide (additionné d'un coup intermédiaire entre le résidu et le distillat le plus lourd) est appelé « Bright stock » ou « BSS » (Bright stock solvant).

Les conditions opératoires moyennes d'une unité de déparaffinage sont indiquées dans le tableau II.3.

Tableau II.3 : Les conditions opératoires moyennes d'une unité de déparaffinage.

	Distillats légers	Distillats lourds	Bright stock
Débit de charge (m ³ /j)	1000	850	600
Taux de solvant	3.3	3.9	5.5
Température de filtration (°C)	-2.2	-12	-16
% MEC	70	65	55
% toluène	29.5	34.5	44.7
% eau	0.5	0.5	0.3

Tableau II.4 : Caractéristiques de l'huile déparaffinée.

	Distillats légers	Distillats lourds	Bright stock
Viscosité à 100° (mm ² /s)	5,3	9,8	33
VI	101	100	95
Point d'écoulement (°C)	-15	-6	-6

II.3.8 Influence de la composition du solvant

Dans l'industrie pétrolière et gazière, il est souvent nécessaire de chauffer ou de refroidir les fluides, parfois en modifiant leur phase, au cours des différentes opérations qu'ils subissent. Pour obtenir les meilleurs résultats, il convient d'optimiser les proportions de différents solvants utilisés. Le MEC, bien qu'il ait un pouvoir solvant limité vis-à-vis des produits paraffiniques, offre une bonne sélectivité. En revanche, le toluène est un excellent solvant pour les huiles de base. Pour obtenir un solvant idéal, il est souvent recommandé de mélanger ces deux types de solvants. Dans ce contexte, le mélange de toluène et de MEC est le plus utilisé.

Chapitre III :

Les échangeurs de

chaleur

III.1 Introduction

Dans l'industrie, on doit très souvent réaliser, un transfert de chaleur entre un fluide chaud et un fluide froid qui ne doit pas être mis en contact. Cette opération est généralement effectuée dans des appareils où les deux fluides circulent de part et d'autre des parois solides. Ces appareils sont appelés échangeurs de chaleur.

En effet, les échangeurs de chaleur sont couramment utilisés dans un large éventail d'applications : ils sont présents dans des secteurs extrêmement divers malgré la même fonction de base qui est de transférer de l'énergie thermique entre deux ou plusieurs fluides à des températures différentes. Ils sont présents aussi bien dans le secteur industriel (chimie, pétrochimie, agroalimentaire, électricité, etc.), le secteur résidentiel (chauffage et climatisation), ainsi que le secteur de transport (automobile, marine, etc.) [12].

Le choix d'un échangeur de chaleur, pour une application donnée, dépend de nombreux paramètres : domaine de température et de pression des fluides, propriétés physiques et agressivité de ces fluides, maintenance et encombrement. Il est évident que le fait de disposer d'un échangeur bien adapté, bien dimensionné, bien réalisé et bien utilisé permet un gain de rendement et d'énergie des procédés.

III.2 Les différents modes de transfert de chaleur

III.2.1 Conduction

Le phénomène de conduction pure se rencontre essentiellement dans les solides. La propagation de chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps se fait suivant deux mécanismes bien distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres.

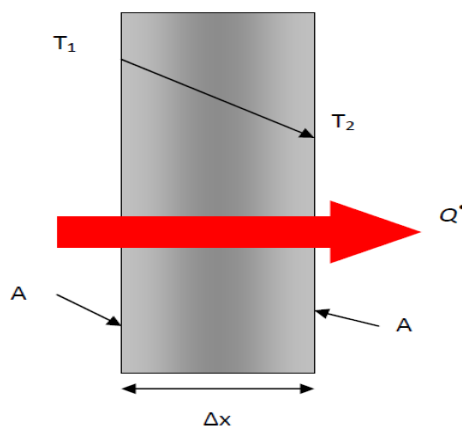


Figure III.1 : Conduction de chaleur à travers une paroi.

III.2.2 Convection

Le terme de convection (Figure III.2) est utilisé pour d'écrire le transfert d'énergie entre une surface solide et un fluide en mouvement par rapport à cette surface. Pour ce transfert, le transport d'énergie par conduction a toujours lieu, néanmoins le mode dominant est celui due au mouvement de particules fluides [13].

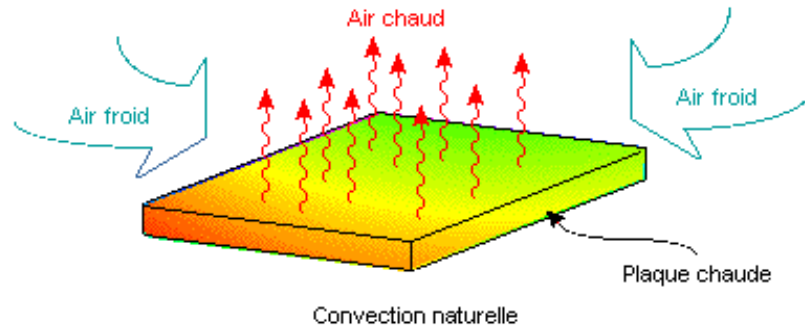


Figure III.2 : Phénomène de convection thermique.

Il y a deux sortes de convection :

- Convection forcée.
- Convection libre (naturelle).

III.2.3 Rayonnement

Le transfert de chaleur par rayonnement est un mode de transfert de chaleur qui se produit à travers un espace vide ou un milieu transparent, tel que l'air ou l'eau, sans qu'il y ait de contact physique entre les objets.

Les rayonnements thermiques sont émis par un objet chaud et voyagent à travers l'espace jusqu'à atteindre un autre objet, qui peut absorber, réfléchir ou transmettre une partie de cette énergie. La quantité de chaleur transférée par rayonnement dépend de la température des objets, de leur surface et de leur émissivité, qui est une mesure de leur capacité à émettre des rayonnements thermiques.

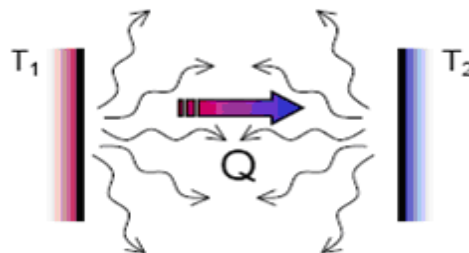


Figure III.3 : phénomène de rayonnement thermique.

III.3 Les échangeurs de chaleur

III.3.1 Définition

Les échangeurs de chaleur sont des appareils permettant de transférer de la chaleur entre deux fluides à des températures différentes. Dans la plupart des cas, les deux fluides ne sont pas en contact, et le transfert s'effectue à travers une surface d'échange [14].

Le transfert de chaleur dans un échangeur de chaleur implique la présence de l'effet de la convection dans chaque fluide et la conduction à travers la paroi séparant les deux fluides [15].

III.3.2 Les fonctions des échangeurs de chaleur

Les applications des échangeurs de chaleur sont très nombreuses, on peut les regrouper en quatre fonctions principales :

- La fonction réfrigération.
- La fonction chauffage.
- La fonction vaporisation.
- La fonction condensation [16].

III.3.2.1 Fonction réfrigération

- **Réfrigérant** : il refroidit un liquide ou un gaz par circulation d'un fluide auxiliaire qui peut être un fluide de procédé ou de l'eau.
- **Aéroréfrigérant** : Il utilise l'air comme fluide réfrigérant.
- **Réfrigérant intermédiaire** : Ces termes sont réservés aux réfrigérants de gaz comprimé à divers stades de compression.
- **Réfrigérant final** : réfrigérant qui termine la réfrigération d'un produit. Par exemple, le terme désigne un échangeur qui assure les conditions de sécurité nécessaires au stockage du produit.
- **Chiller** : Il refroidit le fluide de processus par évaporation du fluide frigorigène.

III.3.2.2 Fonction chauffage

- **Réchauffeur** : il réchauffe également un fluide de procédé.
- **Préchauffeur** : il préchauffe un fluide de procédé par la vapeur d'eau ou un autre fluide chaud de procédé, la chauffe se poursuivant souvent dans un four en aval.
- **Économiseur** : désigne le serpentin permettant la préchauffe de l'eau d'alimentation des chaudières par les fumées.
- **Surchauffeur** : Il élève la température du gaz ou de la vapeur au-dessus de sa température de condensation.

III.3.2.3 Fonction condensation :

- **Condenseur** : il assure la condensation totale ou partielle de vapeur par circulation d'eau ou de fluide de procédé suffisamment froid.
- **Aérocondenseur** : il assure la même fonction en utilisant l'air comme fluide froid.
- **Subcooler** : il assure la condensation de vapeur et le refroidissement des condensats, généralement par circulation d'eau.

III.3.2.4 Fonction vaporisation :

- **Vaporiseur** : il assure la vaporisation totale ou partielle d'un liquide de procédé, l'apport de chaleur étant fait par la vapeur d'eau ou un fluide chaud, éventuellement en condensation.
- **Rebouilleur** : il vaporise une partie des produits de fond de colonnes de distillation pour les renvoyer au fractionnement.
- **Générateur de vapeur** : il produit de la vapeur par récupération de la chaleur sensible contenue dans les fluides de procédés, des fumées ou par combustion de gaz.

III.3.3 Principe de fonctionnement

Le principe général d'un échangeur de chaleur consiste à faire circuler deux fluides à travers des conduites qui mettent en contact thermique de manière générale, les deux fluides sont mis en contact thermique à travers une paroi le plus souvent métallique ce qui favorise l'échange de chaleur on a en général un fluide chaud qui cède de la chaleur à un fluide froid.

III.3.4 Modes de circulation

III.3.4.1 Échangeur à co-courant

Les deux fluides circulent parallèlement dans le même sens.

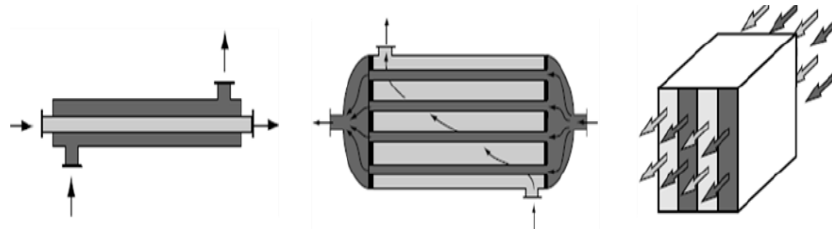


Figure III.4 : Circulation à co-courant.

III.3.4.2 Échangeur à contre-courant

Les deux fluides circulent parallèlement dans les sens contraires.

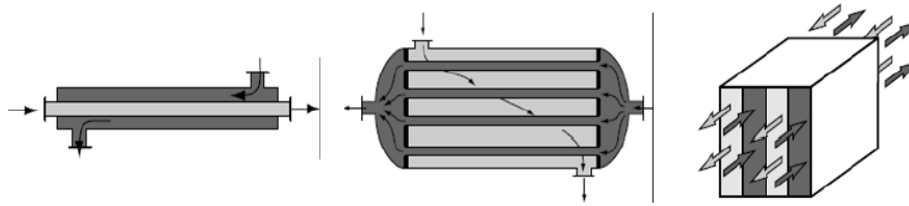


Figure III.5 : Circulation à contre-courant.

III.3.4.3 Échangeur à courant croisé

Lorsque les deux fluides circulent dans des directions perpendiculaires.

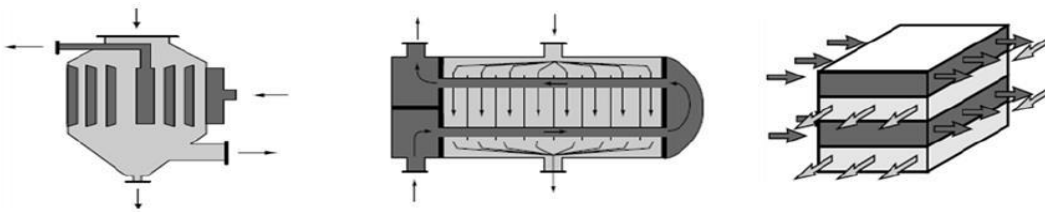


Figure III.6 : Circulation à courant croisé.

III.3.5 Types d'échangeurs

Les principaux types d'échangeurs rencontrés sont les suivants :

III.3.5.1 Échangeurs à plaques

Ils sont constitués d'un empilement de plaques dont la périphérie est remplie de joints ; le fluide s'écoule entre ces plaques dans des canaux plans, ou l'écoulement peut être diagonal ou transversal. Les fluides froids et chauds alternent d'une voie à l'autre, et en général, la répartition des fluides entre voies se fait en schémas U, Z ou multivoies.

Ils sont particulièrement recommandés lorsqu'il s'agit de transfert de chaleur entre deux liquides, à la fois parce que la surface d'échange est importante par rapport au volume de l'appareil, et parce que les fluides se retrouvent en turbulence lors du passage dans l'appareil.

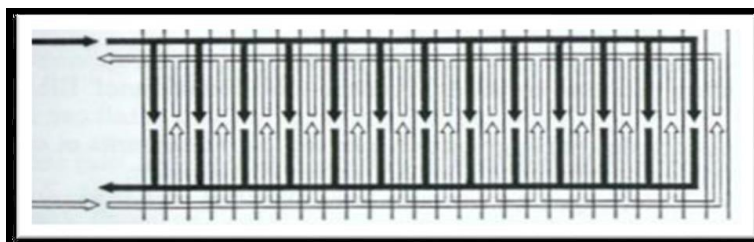


Figure III.7 : Distribution en U mono passe dans un échangeur à plaque.

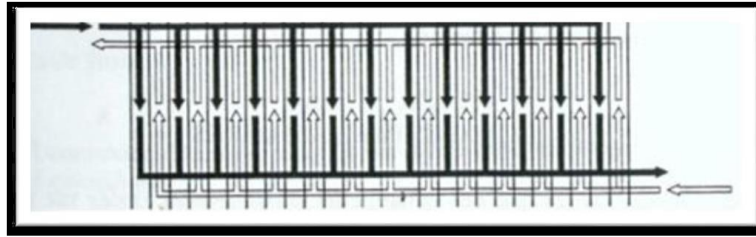


Figure III.8 : Distribution en Z mono passe dans un échangeur à plaque.

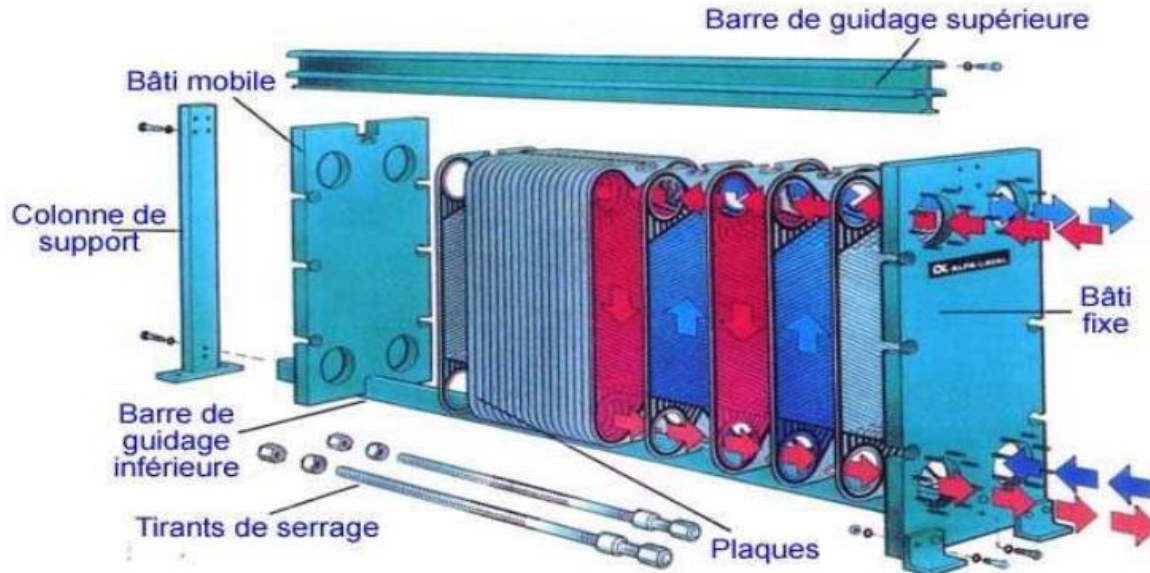


Figure III.9 : Schéma d'un échangeur à plaques.

III.3.5.2 Échangeurs à tubes (monotubes, coaxiaux ou multitubulaires) [17].

Pour des raisons économiques, les échangeurs utilisant les tubes comme constituant principal de la paroi d'échange sont les plus répandus.

On peut distinguer trois catégories suivant le nombre de tubes et leur arrangement, toujours réalisés pour avoir la meilleure efficacité possible pour une utilisation donnée :

III.3.5.2.1 Échangeur monotube

Le tube généralement en forme de serpent, est placé à l'intérieur du réservoir (Figure III.10 a).

III.3.5.2.2 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 (Figure III.10 b).

III.3.5.2.3 Échangeur multitubulaire

Il existe sous quatre formes :

- **Échangeur à tubes séparés** (Figure III.10 c) : A l'intérieur d'un tube de diamètre suffisant se trouvent placés plusieurs tubes de petit diamètre maintenus écartés par des entretoises.
- **Échangeur à tubes rapprochés** (Figure III.10 d) : Pour maintenir les tubes et obtenir un passage suffisant pour le fluide extérieur au tube, on place un ruban enroulé en spirale autour de certains d'entre eux. Les tubes s'appuient les uns sur les autres par l'intermédiaire des rubans.
- **Échangeur à tubes ailettes** (Figure III.10 e) : ces tubes permettent d'améliorer le coefficient d'échange thermique.
- **Échangeur à tubes et calandre** (Figure III.10 f) : c'est l'échangeur actuellement le plus répandu.

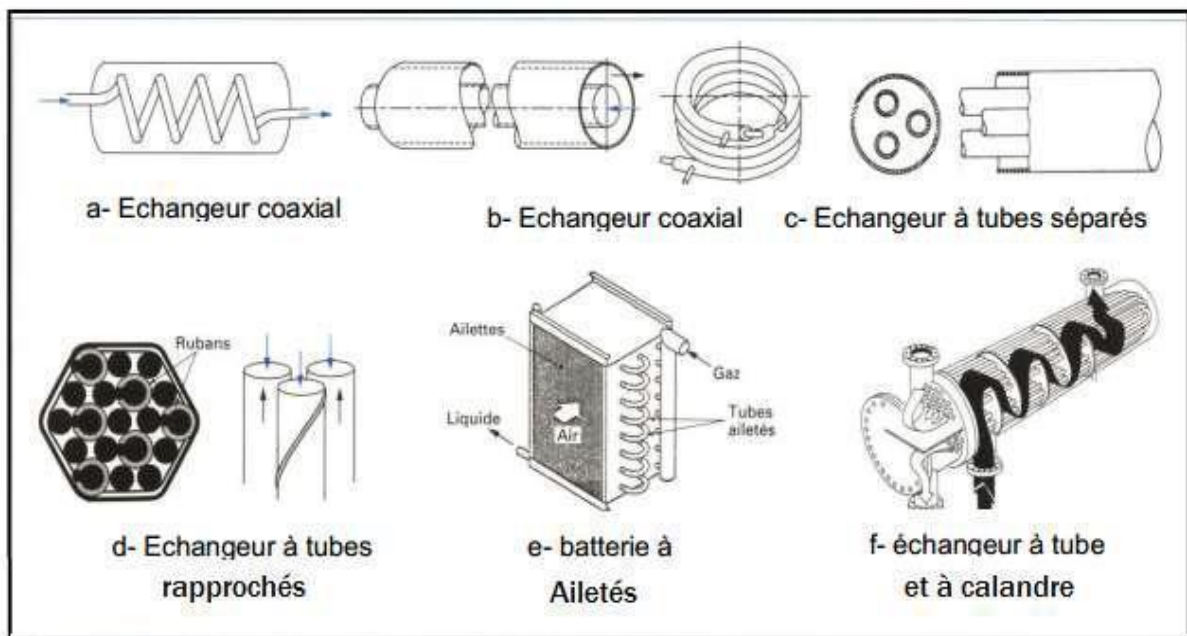


Figure III.10 : Différents types d'échangeurs tubulaires.

III.4 Échangeurs ou «chiller» à grattoirs

III.4.1 Dimension-Nombres

L'unité 400 possède quatre échangeurs à grattoirs E403(A-B-C-D) et quatre réfrigérants à grattoirs E404(A-B-C-D). Ils sont constitués chacun de quatorze doubles tubes montés en rangée de deux éléments tubulaires dans le sens de la largeur sur sept dans le sens de la hauteur. [18]

Dans chaque élément, un grattoir à paraffine est prévu. Les tubes interne et externe ont des diamètres de 20,15 cm et 25,7 cm, respectivement.

La figure III.11 montre un schéma d'un refroidisseur à grattoirs typique.

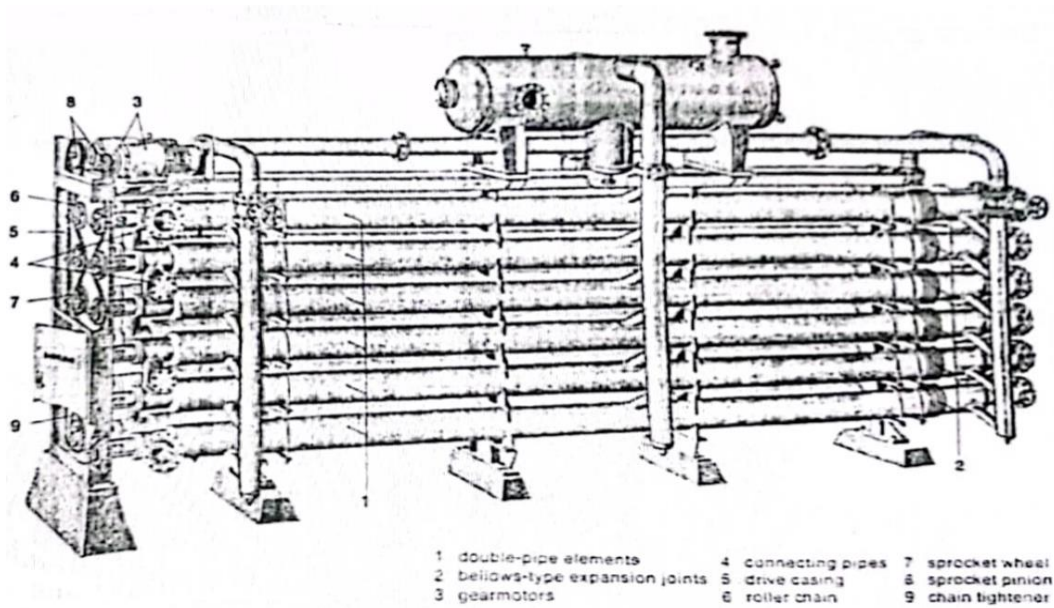


Figure III.11 : Réfrigérant à grattoirs [19].

III.4.2 Grattoirs

- Chaque tube intérieur est équipé d'un racleur de type "plungerhead type" (Figure III.12) permettant de racler la paraffine des parois du tube.
- L'arbre du racleur et le racleur lui-même sont constitués de plusieurs pièces.
- La vitesse de rotation des racleurs est de 12,8 tours/min.

La figure III.12 montre également les paliers de support d'arbre ("spider bearing ") et les joints de dilatation sur le tube extérieur.

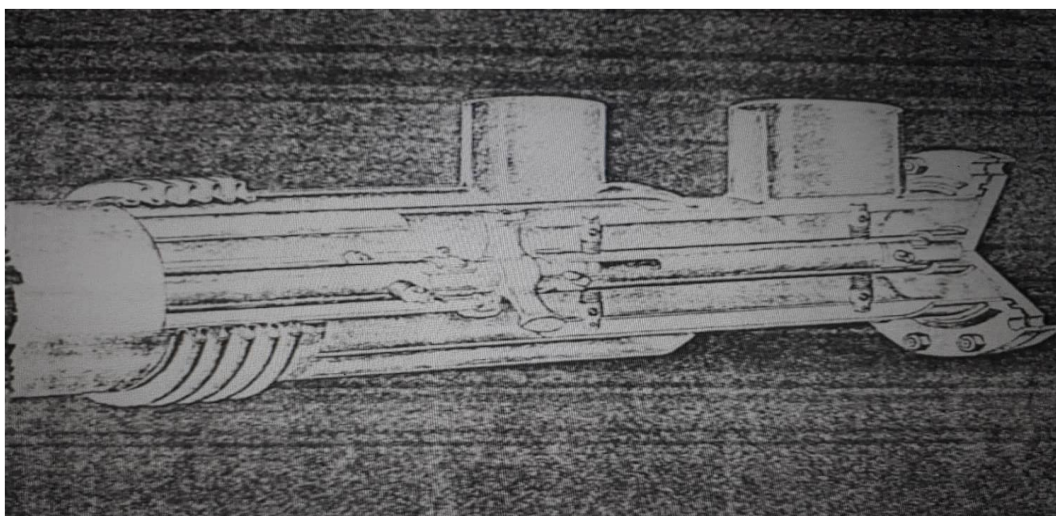


Figure III.12 : Arbre et grattoirs [18].

III.4.3 Entraînement

- Chaque unité est fournie avec un moteur électrique avec un réducteur pour entraîner la chaîne
- Chaque arbre à grattoirs est entraîné par la chaîne à l'aide d'un pignon.
- Enfin deux goupilles de cisaillement " shear pin " sont installées par arbre pour le cas du blocage du tube intérieur par la paraffine.
- Enfin, deux goupilles de sécurité sont installées sur chaque axe pour éviter le bouchage du tube intérieur par la paraffine.



Figure III.13 : Chiller de l'unité 400.

Chapitre IV :

Problématique et

performances des

Chillers E403/404

IV.1 Introduction

L'unité de déparaffinage au MEC/toluène connaît quelques problèmes mécaniques dans ses équipements tels que les chillers. Ces derniers rencontrent des problèmes de bouchage répétitif dans les tubes intérieurs, causé par une détérioration des racleurs. Ce phénomène entraîne l'arrêt de la rotation de l'arbre, ce qui a un impact direct sur le refroidissement de la charge et aussi sur le point d'écoulement. Ces problèmes doivent être rapidement résolus afin d'assurer le bon fonctionnement de l'unité de déparaffinage et d'éviter tout retard dans les processus de production. Des mesures adéquates doivent être prises pour garantir la continuité de l'activité et la satisfaction des clients.

Le point d'écoulement dépend de plusieurs facteurs :

- La composition du solvant (MEC/Toluène).
- Le refroidissement uniforme dans les chillers.
- La température de filtration.
- L'état des filtres.
- Température du solvant froid.

Dans ce chapitre on va présenter en premier lieu la problématique et ensuite la vérification des performances des chillers.

IV.2 Présentation du problème

Durant ce suivi, le point d'écoulement varie entre -6 °C et -12 °C pour l'huile de grade SAE30 malgré qu'on travaille avec 100% de taux de charge.

Pour pouvoir connaître la cause de variation du point d'écoulement, on a fait un suivi de point d'écoulement et la température de filtration pour la charge SAE30 avec :

- Taux de charge 100%
- Composition du solvant est 52% MEC et 48% toluène.
- Filtres en bon état.

Les résultats obtenus sont reportés dans la figure suivante :

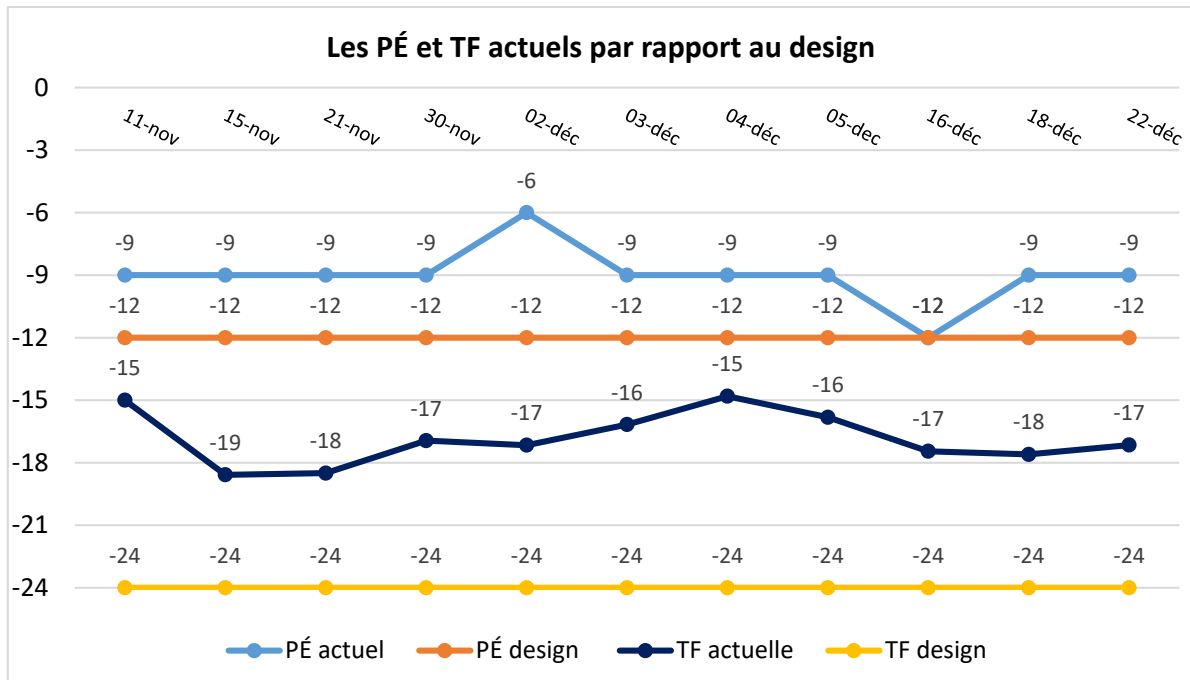


Figure IV.1 : Suivis de la variation de point d'écoulement et température de filtration par rapport au design.

En examinant les résultats, il est clair que la température de filtration actuelle (qui oscille entre -15 °C et -18 °C) diffère considérablement de la température de filtration de conception qui a un impact direct sur le point d'écoulement (varie entre -6 °C et 12 °C). Ces données nous indiquent que la température de filtration actuelle est instable et plus élevée que la température de filtration de conception de -24 °C. En conséquence, il est impératif de vérifier les performances des chillers.

IV.3 Vérification des performances des chillers E403A/B/C/D

Ce calcul constitue une série d'opérations successives où certains paramètres intermédiaires tels que la température calorifique (T_c), la différence moyenne logarithmique des températures (ΔT_{LM}), la chaleur thermique (Q), le coefficient de transfert propre (U_p), le coefficient global sale (U_s) pour arriver finalement à la valeur de la surface d'échange (A_s) en utilisant la méthode de KERN.

IV.3.1 Les données de base

Grade SAE30

À travers le côté tube interne circule le fluide réfrigéré ce qu'on appelle la charge (huile paraffinée (VO) + solvant).

À travers le côté tube externe circule le fluide réfrigérant ce qu'on appelle le filtrat (huile déparaffinée (DO) + solvant).

Débit volumique d'huile paraffinée : 14,38 m³/h.

Débit de solvant de la 1ère dilution : 33,84 m³/h.

Débit volumique du filtrat : 105,70 m³/h.

Le débit d'entrée de la charge et du filtrat se divise en deux passes qui ont le même débit (figure IV.2).

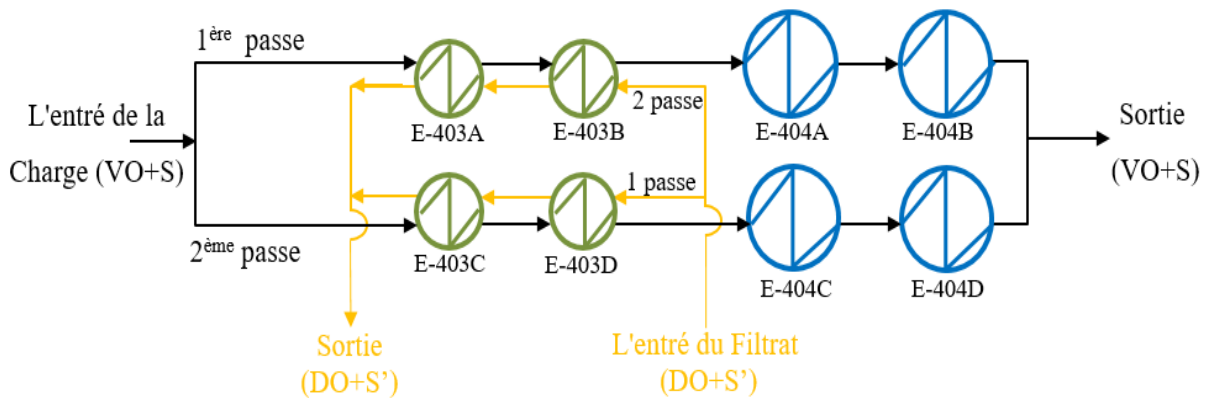


Figure IV.2 : Schéma de circuit de la charge et du filtrat.

Donc :

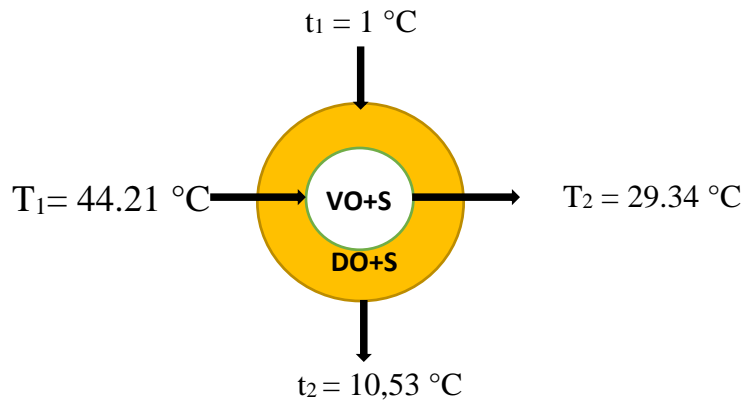
$$\text{Charge : } M = 24,11 \text{ m}^3/\text{h} : \begin{cases} \text{VO} = 7,19 \text{ m}^3/\text{h} \\ \text{Solvant} = 16,92 \text{ m}^3/\text{h} \end{cases}$$

$$\text{Filtrat : } M' = 52,85 \text{ m}^3/\text{h} : \begin{cases} \text{DO} = 7,93 \text{ m}^3/\text{h} \\ \text{Solvant} = 44,92 \text{ m}^3/\text{h} \end{cases}$$

Tableau IV.1 : Les proportions volumiques de la charge et du filtrat.

	Débit (m ³ /h)	Proportion volumique (%)
Charge (VO+S)	M _{vo} = 7,19	X _{vo} = 29,82
	M _s = 16,92	X _s = 70,18
Filtrat (DO+S')	M' _{do} = 7,93	X _{do} = 15
	M' _{s'} = 44,92	X _{s'} = 85

IV.3.2 Schiller E403A



IV.3.2.1 Différence moyenne logarithmique de température :

Elle est exprimée comme suit :

$$\Delta TLM = \left(\frac{\Delta T_e - \Delta T_s}{\ln\left(\frac{\Delta T_e}{\Delta T_s}\right)} \right) \tag{IV.1}$$

Où :

$$\Delta T_e = T_1 - t_2 \tag{IV.2}$$

$$\Delta T_s = T_2 - t_1 \tag{IV.3}$$

En calculant, On trouve :

$$\Delta T_e = 33,68 \text{ °C}$$

$$\Delta T_s = 28,34 \text{ °C}$$

$$\text{Donc : } \Delta TLM = 30,93 \text{ °C}$$

IV.3.2.2 Température calorique T_c , t_c

$$\text{Pour le tube interne (la charge) : } T_c = 0.5(T_1 + T_2) \tag{IV.4}$$

$$\text{Pour le tube externe (filtrat) : } t_c = 0.5(t_2 + t_1) \tag{IV.5}$$

Donc :

$$T_c = 36,78 \text{ °C}$$

$$t_c = 5,78 \text{ °C}$$

Les résultats de calcul des quatre chillers sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau IV.2 : Températures de la charge (T) et du filtrat (t) au niveau des chillers E403A/B/C/D.

Chiller	E403A	E403B	E403C	E403D
T ₁ (°C)	44,21	29,34	44,21	20,5
T ₂ (°C)	29,34	8,78	20,5	13,08
T _c (°C)	36,78	19,065	32,36	16,79
t ₁ (°C)	1	-16,76	-8,71	-16,76
t ₂ (°C)	10,53	1	12	-8,71
t _c (°C)	5,78	-7,88	1,65	-12,74
ΔTLM(°C)	30,93	26,92	30,685	29,52

IV.3.2.3 Détermination les caractéristiques physico-chimiques à T_c, T_c :

La densité (d)

- Coté tube interne

Huile :

$$d_{4vo}^{15} = 0,865$$

$$d_{vo}^{T_c} = d_{4vo}^{15} + K (15 - T_c) \tag{IV.6}$$

avec: K = 0,00075 (voir annexe 2)

$$\text{donc : } d_{vo}^{T_c} = 0,8508$$

Solvant (MEC, toluène) :

$$d_{sol}^{15} = (d_{tol}^{15} \cdot X_{tol}) + (d_{mec}^{15} \cdot X_{mec}) \tag{IV.7}$$

$$\left. \begin{array}{l} d_{tol}^{15} = 0,870 \quad , \quad X_{tol} = 0,48 \\ d_{mec}^{15} = 0,807 \quad , \quad X_{mec} = 0,52 \end{array} \right\} \Rightarrow d_{sol}^{15} = 0,837$$

$$d_{sol}^{T_c} = d_{sol}^{15} + k (15 - T_c) \tag{IV.8}$$

$$K = 0,00075 \quad (\text{voir annexe 2}) \quad \Rightarrow \quad d_{sol}^{T_c} = 0,8206$$

Densité de la charge

$$d_{4vo+sol}^{15} = d_{4vo}^{15} \cdot X_{vo} + d_{4sol}^{15} \cdot X_{sol} = 0,845 \tag{IV.9}$$

$$d_{vo+sol}^{T_c} = d_{vo}^{T_c} \cdot X_{vo} + d_{sol}^{T_c} \cdot X_{sol} \tag{IV.10}$$

$$\Rightarrow d_{V0+sol}^{Tc} = 0,8296$$

Coté tube externe

Huile déparaffinée (filtrat) :

$$d_{D0}^{15} = 0,875$$

$$d_{D0}^{t_c} = d_{D0}^{15} + K (15 - t_c) \tag{IV.11}$$

$$\Rightarrow d_{D0}^{t_c} = 0,881$$

$$K = 0,00065 \text{ (voir annexe 2)}$$

Solvant (MEC, toluène) :

$$d_{sol}^{15} = 0,837$$

$$d_{sol}^{t_c} = d_{sol}^{20} + K (15 - t_c) \tag{IV.12}$$

$$\Rightarrow d_{sol}^{t_c} = 0,844$$

$$K = 0,00075 \text{ (voir annexe 2)}$$

Densité de filtrat (huile déparaffiné +solvant) :

$$d'_{D0+sol}^{15} = 0,844$$

$$d'_{D0+sol}^{t_c} = d_{D0}^{t_c} \cdot x'_{D0} + d_{sol}^{t_c} \cdot x'_{sol} \tag{IV.13}$$

$$\Rightarrow d'_{D0+sol}^{t_c} = 0,850$$

IV.3.2.4 La masse volumique (ρ) :

Elle est tirée de la formule suivante :

$$d = \frac{\rho^{Tc}(\text{charge})}{\rho(\text{eau})} \Rightarrow \rho^{Tc}(\text{charge}) = d \cdot \rho(\text{eau}) \tag{IV.14}$$

$$d' = \frac{\rho^{t_c}(\text{filtrat})}{\rho(\text{eau})} \Rightarrow \rho^{t_c}(\text{filtrat}) = d' \cdot \rho(\text{eau}) \tag{IV.15}$$

$$\rho = 0,850 \times 1000$$

$$\rho' = 0,8296 \times 1000$$

Donc :

$$\rho = \rho^{Tc}(\text{charge}) = 829,6 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho' = \rho^{t_c}(\text{filtrat}) = 850 \text{ kg/m}^3$$

IV.3.2.5 La chaleur spécifique (Cp)

- **Côté tube interne**

Cp est donnée par la formule suivante:

$$C_p = (X_{vo} \cdot C_{pvo} + X_{sol} \cdot C_{psol}) \quad \text{(IV.16)}$$

C_{pdo} et C_{psol} sont tirées respectivement des annexes (3, 4) et 5, X_{vo} et X_{sol} figurent dans le tableau IV.1:

$$C_{pvo} = 0,5 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$C_{psol} = 0,47 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

D'après les analyses du laboratoire, on a:

$$d_{vo} = 0,865 \text{ et } v_{vo} \text{ à } 50 \text{ } ^\circ\text{C} = 55 \text{ cst}$$

$$\text{Donc : } C_p = 0,4789 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

- **Côté tube externe**

De la même manière, on calculera Cp' :

$$C_p' = (X_{do} \cdot C_{pdo} + X'_{sol} \cdot C_{p'sol}) \quad \text{(IV.17)}$$

$$C_{pdo} = 0,480 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \quad (\text{voir annexe 3 et 4})$$

$$C_{p'sol} = 0,460 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \quad (\text{voir annexe 5})$$

X_{do} et X'_{sol} sont tirées du tableau IV.1:

$$d_{do} = 0,875 \text{ et } v_{do} \text{ à } 50 \text{ } ^\circ\text{C} = 58 \text{ cst}$$

$$\text{Donc : } C_p' = 0,463 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

IV.3.2.6 La conductivité thermique (λ)

- **Côté tube interne**

λ est exprimée comme suit:

$$\lambda = 0,17 - 1,418 \times 10^{-4} \cdot T_c \quad \text{(IV.18)}$$

Où T_c en est exprimée en Kelvein (T_c = 309,25 °K)

$$\text{Donc } \lambda = 0,126 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{K}$$

$$\text{Or } 1 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{K} = 0,8598 \text{ kcal/h.m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{Alors } \lambda = 0,10834 \text{ kcal/h.m} \cdot ^\circ\text{C}$$

- **Côté tube externe**

$$t_c = 278.93 \text{ }^\circ\text{K.}$$

IV.3.2.7 La viscosité

- **Côté tube interne**

T_c est donnée en Fahrenheit.

$$T_c = 98,20 \text{ }^\circ\text{F} \text{ (voir annexe 6)}$$

- **Viscosité cinématique**

$$v = 1,32 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$$

- **Viscosité dynamique μ :**

$$\mu = \rho \cdot v \tag{IV.19}$$

$$\mu = 829,6 \times 1,32 \times 10^{-6}$$

$$\mu = 1,095 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{sec}$$

- **Côté tube externe**

$$t_c = 42,4 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$v' = 1,140 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$$

$$\mu' = \rho' \cdot v' \tag{IV.20}$$

$$\mu' = 850 \times 1,140 \times 10^{-6}$$

$$\mu' = 0,969 \times 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{sec}$$

Les résultats de calcul des quatre chillers sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau IV.3 : Les caractéristiques physico-chimiques à T_c , t_c .

Chiller	E403A		E403B		E403C		E403D	
	CTI	CTE	CTI	CTE	CTI	CTE	CTI	CTE
ρ (kg/m ³)	829,6	850	842	860	833	852,5	844	863
C_p (kcal/kg·°C)	0,4789	0,463	0,465	0,43	0,436	0,44	0,447	0,429
λ (kcal/h·m·°C)	0,10834	0,1121	0,11	0,1323	0,1089	0,1126	0,1108	0,1144
v (m ² /sec) · 10 ⁶	1,32	1,14	1,85	1,42	1,29	1,21	1,91	1,52
μ (kg/m·s) · 10 ³	1,095	0,969	1,557	1,221	1,0746	1,0315	1,61	1,31

* CTI (Côté tube interne).

* CTE (Côté tube externe).

IV.3.2.8 Quantité de chaleur thermique (Q)

• **Côté tube interne**

$$Q_1 = \rho \cdot M \cdot C_p \cdot (T_1 - T_2) \tag{IV.21}$$

$$Q_1 = 829,6 \times 24,11 \times 0,4789 \times (44,21 - 29,34)$$

$$Q_1 = 142436,65 \text{ Kcal/h}$$

• **Côté tube externe**

$$Q_2 = \rho' \cdot M' \cdot C_p' \cdot (t_2 - t_1) \tag{IV.22}$$

$$Q_2 = 850 \times 52,85 \times 0,463 \times (10,53 - 1)$$

$$Q_2 = 198215,59 \text{ Kcal/h}$$

La chaleur thermique moyenne

$$Q_{\text{moy}} = (Q_1 + Q_2) / 2 \tag{IV.22}$$

$$Q_{\text{moy}} = 170326,12 \text{ Kcal/h}$$

Q_1 et Q_2 : chaleur thermique respectives échangées entre la charge et le filtrat.

Les résultats obtenus pour les quatre chillers sont exposés dans le tableau suivant :

Tableau IV.4 : Quantité de chaleurs échangée entre la charge et le filtrat.

Chiller	E403A	E403B	E403C	E403D
Q_1 (kcal/h)	142436,65	193987,65	220472,67	67491,82
Q_2 (kcal/h)	198215,59	347100,2	412141,69	157510,3
Q_{moy} (kcal/h)	170326,12	270543,93	316307,18	112501,06

IV.3.2.9 Calcul du coefficient de transfert de chaleur

IV.3.2.9.1 Calcul du coefficient de transfert interne du tube interne (h_{i0})

h_{i0} est donné par la formule suivante :

$$\frac{h_{i0}}{\Phi_t} = \frac{d_i}{d_o} \times \left(\frac{h_i}{\Phi_t} \right) \tag{IV.23}$$

Avec :

d_i : Diamètre intérieur (tube interne) = 0,2015 m

d_o : diamètre extérieur (tube interne) = 0,2191 m

$$\phi_t = \left(\frac{\mu}{\mu_t} \right)^{0.14} \quad (\text{IV.24})$$

u_t est une donnée ($u_t = 0,00125$ kg/m·sec)

μ est déjà calculée précédemment.

Donc $\phi_t = 0,9816$

h_i étant le coefficient de transfert externe du tube interne, est calculé par l'équation suivante ;

$$h_i = j_n \times \frac{\lambda}{d_i} \times \left(\frac{c_p \cdot \mu}{\lambda} \right)^{1/3} \times \phi_t \quad (\text{IV.25})$$

$$\text{Avec } j_n = 0,36 \text{ Re}_t^{0.55} \quad (\text{IV.26})$$

Re_t étant le Nombre de Reynolds exprimé comme suit

$$\text{Re}_t = \frac{Gt \cdot d_i}{\mu} \quad (\text{IV.27})$$

$$Gt = \frac{\rho \times M}{a_t} \quad (Gt : \text{Vitesse massique}) \quad (\text{IV.28})$$

$$a_t = \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \quad (\text{IV.29})$$

(a_t : section du tube interne = 0,032 m²)

Donc $G_t = 173,625$ kg /m²·s et par conséquent $\text{Re}_t = 31950,17$

En remplaçant toutes ses valeurs dans l'expression de h_i , on obtient $h_i = 147,89$ kcal/h·m²·°C

Et finalement $h_{i0} = 136,009$ kcal/h·m²·°C .

IV.3.2.9.2 Calcul du coefficient de transfert interne du tube externe (h_0)

h_0 est donné par la formule suivante :

$$h_0 = j'_n \times \frac{\lambda'}{d_e} \times \left(\frac{c_p' \cdot \mu'}{\lambda'} \right)^{1/3} \times \phi_a \quad (\text{IV.30})$$

$$\phi_a = \left(\frac{\mu'}{\mu'_t} \right)^{0.14} \quad (\text{IV.31})$$

u'_t est une donnée ($u'_t = 0,000697$ kg/m·sec)

μ' est déjà calculée précédemment.

Donc $\Phi_a = 1,0472$

Avec $j'_n = 0,36 \text{ Re}_a^{0.55}$ (IV.32)

Re_a étant le Nombre de Reynolds exprimé comme suit :

$$\text{Re}_a = \frac{Ga \cdot d_e}{\mu'} \quad \text{(IV.33)}$$

Avec d_e : diamètre équivalent qui est exprimé comme suit :

$$d_e = \frac{D_i^2 - d_o^2}{d_o} \quad \text{(IV.34)}$$

D_i : diamètre intérieur du tube externe = 0,257 m

d_o : diamètre extérieur du tube interne = 0,2191 m

$$d_e = 0,0824 \text{ m}$$

$$G_a = \frac{\rho' M'}{a_a} \quad (\text{G}_a : \text{vitesse massique}) \quad \text{(IV.35)}$$

$$a_a = \frac{\pi}{4} (D_i^2 - d_o^2) \quad \text{(IV.36)}$$

($a_a =$ section du tube externe = 0.01489 m²)

Donc $G_a = 838,044 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ et par conséquent $\text{Re}_a = 71264$

En remplaçant toutes ses valeurs dans l'expression de h_0 , on obtient finalement $h_0 = 582,40 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

IV.3.2.10 Calcul du coefficient de transfert propre (U_p)

$$U_p = \frac{h_{i0} \times h_0}{h_{i0} + h_0} \quad \text{(IV.37)}$$

$$U_p = 110,26 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

IV.3.2.11 Calcul du coefficient global sale (U_s) :

$$U_s = \frac{1}{\frac{1}{U_p} + R_s} \quad \text{(IV.38)}$$

R_s : étant la résistance de salissement

$$R_s = 0.0004 \text{ h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C} / \text{kcal} \quad (\text{voir annexe 7})$$

$$U_s = 105,60 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

Les résultats de calcul des quatre chillers sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau IV.5 : Les résultats de calcul des différents coefficients.

CHILLER	E403A		E403B		E403C		E403D	
	CTI	CTE	CTI	CTE	CTI	CTE	CTI	CTE
G (kg /m ² ·s)	173,625	838,044	176,22	847,9	174,34	840,509	176,64	850,86
Re	31950,2	71264	22805,6	57221,1	32690,8	67142,9	22107,4	53519,8
Ø	0,9816	1,0472	1,0312	1,0816	0,86	1,48	1,036	1,879
h (kcal/h·m ² ·°C)	136,009	582,4	133,51	627,53	118,98	802,15	132,24	975,62
U _P kcal/h·m ² ·°C)	110,23		110		103,61		116,455	
U _s (kcal/h·m ² ·°C)	105,6		105,36		99,49		111,27	

* CTI (Côté tube interne).

* CTE (Côté tube externe).

IV.3.2.12 La Surface d'échange calculé (A_c)

$$A_c = \frac{Q_{\text{moy}}}{U_s \cdot \Delta T_{\text{LM}}} \quad \text{(IV.39)}$$

Après le calcul : $A_c = 52,15 \text{ m}^2$

IV.3.2.13 Surface d'échange installée (du design) :

Les quatre chillers ont la même surface d'échange installée a_s .

$$a_s = \pi \cdot d_o \cdot l \cdot Nt \quad \text{(IV.40)}$$

Avec :

l : longueur de tube = 13,4 m

Nt : nombre de tube = 14 tube

d_o : diamètre extérieur du tube intérieur = 0,2191 m

En remplaçant ces valeurs dans la formule on obtient :

$$a_s = 129 \text{ m}^2$$

En procédant dans les calculs de la même manière que dans le Schiller E403A pour déterminer la surface d'échange des (E403B, E403C E403D). Les résultats obtenus sont reportés dans les tableaux :

Tableau IV.6 : Les surfaces d'échanges des chillers E403.

CHILLER	E403A	E403B	E403C	E403D
Surface d'échange (m ²)	52,15	95,44	103,61	34,25
Capacité d'échange (%)	40,43	73,98	80,32	26,55
Surface d'échange installée (m ²)	129			

IV.3.2.14 La surface d'échange total des chillers E403

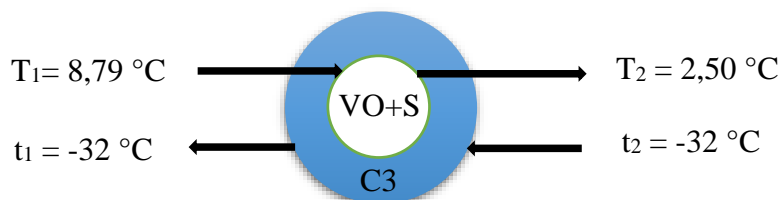
$$A_{s \text{ total}} = A_{s \text{ E403A}} + A_{s \text{ E403B}} + A_{s \text{ E403C}} + A_{s \text{ E403D}}$$

$$A_{s \text{ total}} = 285,45 \text{ m}^2$$

IV.4 Performances des chillers à propane E404A/B/C/D

- À travers le côté tube interne circule le fluide réfrigéré ce qu'on appelle la charge (huile paraffinée (VO) + solvant).
- À travers le côté tube externe circule le fluide réfrigérant (le propane C3).

Chiller E404A



IV.4.1 Différence moyenne logarithmique de température

En appliquant les équations précédentes IV.1, IV.2, et IV.3, on trouve :

$$\Delta t_e = 40,79 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_s = 34,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Donc } \Delta\text{TLM} = 37,56 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tableau IV.7 : Températures de la charge (T) et du filtrat (t) au niveau des chillers E404A/B/C/D.

Chiller	T1(°C)	T2(°C)	t1(°C)	t2(°C)	DTLM (°C)
E404A	8,79	2,5	-32	-32	37,56
E404B	2,5	-20,16	-32	-32	21,19
E404C	13,08	-2	-32	-32	37,03
E404D	-2	-19,09	-32	-32	20,33

IV.4.2 Détermination la densité d_{15}^{15} des VO, MEC, toluène :

La densité de VO :

$$d_{4vo}^{15} = 0,865$$

$$d_{15vo}^{15} = d_{4vo}^{15} / 0,99904 \tag{IV.41}$$

$$\Rightarrow d_{15vo}^{15} = 0,8658$$

La densité de mec :

$$d_{4mec}^{15} = 0,807$$

$$d_{15mec}^{15} = d_{4mec}^{15} / 0,99904 \tag{IV.42}$$

$$\Rightarrow d_{15mec}^{15} = 0,8078$$

La densité de toluène :

$$d_{4tol}^{15} = 0,870$$

$$d_{15tol}^{15} = d_{4tol}^{15} / 0,99904 \tag{IV.43}$$

$$\Rightarrow d_{15tol}^{15} = 0,8708$$

IV.4.3 Quantité de chaleur dégagée par le mélange d'alimentation (Q_1)

Q_1 est déterminée par l'équation du bilan thermique :

$$Q_1 = G_{\text{mélange}} \cdot (h_1 - h_2) \tag{IV.44}$$

Avec :

G : débit massique

h_1 : chaleur sensible du mélange d'alimentation à T_1

h_2 : chaleur sensible du mélange d'alimentation à T_2

$$h_1 = \sum H_i(T_1) \cdot X_i \quad \text{(IV.45)}$$

$$h_2 = \sum H_i(T_2) \cdot X_i \quad \text{(IV.45)}$$

H_i : étant l'enthalpie du composant « i » dans le mélange.

X_i : est la composition massique du composant « i ».

On détermine l'enthalpie de la charge à T_1 et T_2

$$H_1(T_1) = 0,403 \cdot T_1 + 0,000405 \cdot (T_1)^2 / \sqrt{\rho_{15}^{15}} \quad \text{(IV.46)}$$

$$H_2(T_2) = 0,403 \cdot T_2 + 0,000405 \cdot (T_2)^2 / \sqrt{\rho_{15}^{15}} \quad \text{(IV.47)}$$

$$H_1(8,79 \text{ °C}) = [0,403 \times 45,54 + 0,000405 \times (8,79)^2] / \sqrt{0,8658}$$

$$H_1(8,79 \text{ °C}) = 3,84 \text{ kcal/kg}$$

$$H_2(2,50 \text{ °C}) = [0,403 \times 2,50 + 0,000405 \times (2,50)^2] / \sqrt{0,8658}$$

$$H_2(2,50 \text{ °C}) = 12,665 \text{ kcal/kg}$$

Tableau IV.8 : Quantité de chaleur dégagée par le mélange d'alimentation Q_1 .

Constituant	G_i (kg/h)	X_i	$H_1(8,79^\circ\text{C})$ kcal/kg	$X_i H_i$	$H_2(2,50^\circ\text{C})$ kcal/kg	$X_i H_i$
VO	5964,5	0,298	3,84	1,144	1,0854	0,3234
MEC	7299,32	0,365	3,976	1,451	1,1238	0,4101
Toluène	6737,84	0,337	3,829	1,29	1,082	0,3647
Total	20001,66	1	-	3,885	-	1,0982

Alors $Q_1 = 20001,66 \times (3,885 - 1,0982)$

Donc $Q_1 = 55740,63 \text{ kcal/h}$

IV.4.4 Détermination de la quantité de chaleur dégagée lors de la cristallisation (Q_2)

$$Q_2 = G_{VO} \cdot \alpha \times L_c / 100 \quad \text{(IV.48)}$$

où :

L_c : la chaleur latente de cristallisation de la paraffine ($L_c = 38,962 \text{ kcal/kg}$)

α : le pourcentage massique des hydrocarbure solide qui se dégagent au cours du refroidissement exprimé comme suit:

$$\alpha = [(T_1 - T_2) / (T_H - T_f)] \cdot A \times 100 \quad \text{(IV.49)}$$

TH : étant la température initiale de cristallisation correspond à l'apparition des cristaux, vu que la valeur TH ne peut être trouvé qu'approximativement, on prend TH = T1

Tf : est la température de filtration.

A : la teneur en paraffine dans le mélange gatsh , pour SAE30 (A=0,2)

$$\alpha = [(8,79 - 2,50) / (8,79 - (-16,76))] \times 0,2 \times 100$$

$$\alpha = 4,92$$

En remplaçant toutes ces valeurs dans Q₂:

$$Q_2 = 5964,5 \times 4,92 \times 38,962 / 100$$

$$\text{Donc } Q_2 = 11433,53 \text{ kcal/h}$$

IV.4.5 Quantité de chaleur dégagée par le mélange d'alimentation Q

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad \text{(IV.50)}$$

$$Q = 67174,16 \text{ kcal/h}$$

Les résultats de calcul des quatre chillers sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau IV.9 : La quantité de chaleur dégagée par le mélange d'alimentation.

CHILLER	E404A	E404B	E404C	E404D
Q ₁ (kcal/h)	55740,63	195103,03	133640,09	145880,1
Q ₂ (kcal/h)	11433,53	54681,1	23487,54	53530,77
Q (kcal/h)	67174,16	249784,13	157127,63	199410,9

IV.4.6 Détermination de la surface d'échange calculée :

$$U_s = 40 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$A_c = \frac{Q}{U_s \cdot \Delta TLM} \quad \text{(IV.51)}$$

$$A_c = 44,71 \text{ m}^2$$

En procédant dans les calculs de la même manière que dans le Schiller E404A pour déterminer la surface d'échange des chillers (E404B, E404C, E404D). Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau IV.10 : Les surfaces d'échanges des chillers E404.

CHILLER	E404A	E404B	E404C	E404D
Surface d'échange (m ²)	44,71	126,75	70,20	112,74
Capacité d'échange (%)	34,66	98,26	54,42	87,4
Surface d'échange installée (m ²)	129			

IV.4.7 Détermination de la surface d'échange total des chillers E404

$$A_{C \text{ total}} = A_{c \text{ E404A}} + A_{c \text{ E404B}} + A_{c \text{ E404C}} + A_{c \text{ E404D}}$$

$$A_{C} = 354,4 \text{ m}^2$$

IV.4.8 Détermination de la surface d'échange total des chillers E403 et E404

$$A_{C \text{ total}} = A_{c \text{ E403A}} + A_{c \text{ E403B}} + A_{c \text{ E403C}} + A_{c \text{ E403D}} + A_{c \text{ E404A}} + A_{c \text{ E404B}} + A_{c \text{ E404C}} + A_{c \text{ E404D}}$$

$$A_{C \text{ total}} = 639,85 \text{ m}^2$$

IV.5 Détermination du nombre des chillers calculé

Le nombre de chiller est calculé à partir de l'équation suivante :

$$n = A_{C \text{ total}} / A_{\text{reel}} \tag{IV.52}$$

Où:

A_{reel} : surface d'échange réelle = 129 m² par chiller

$$n = 639,85 / 129$$

$$n = 5$$

On regroupe la surface d'échange de tous les chillers dans le diagramme suivant :

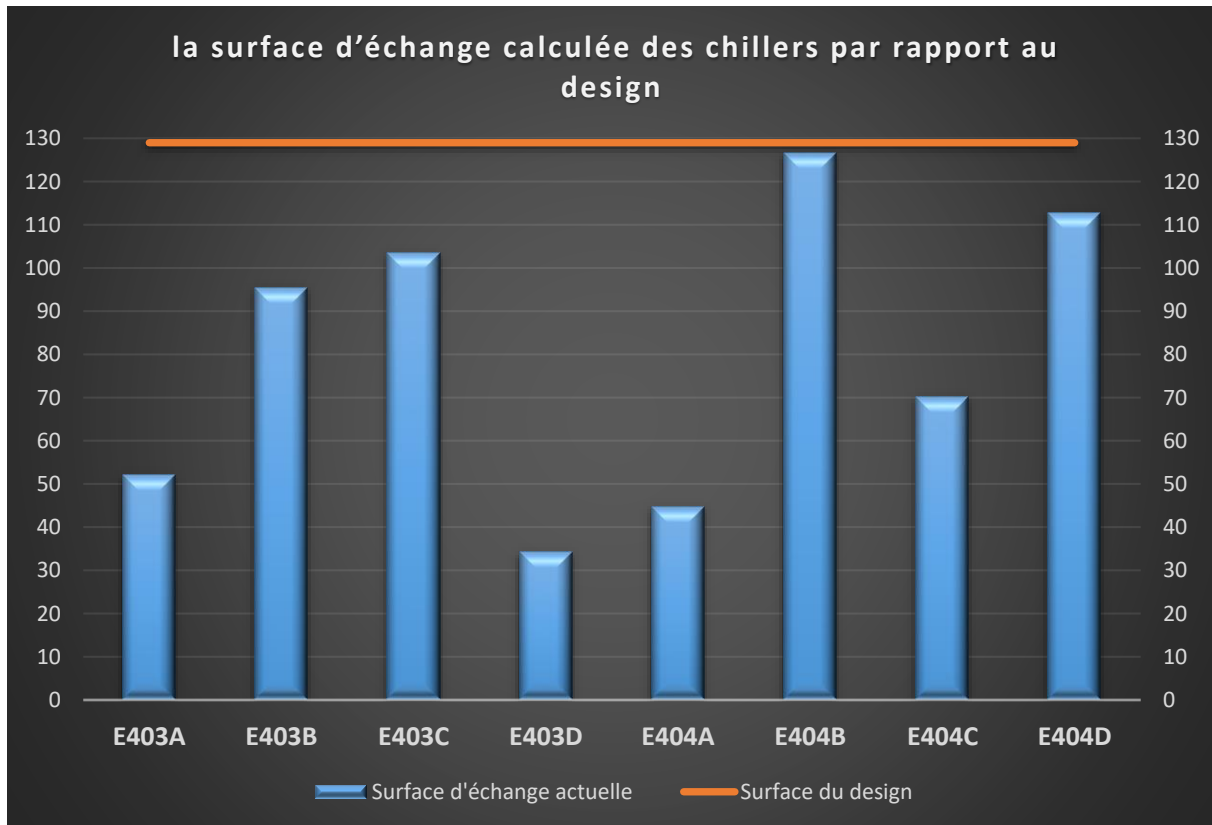


Figure IV.3 : La surface d'échange calculée des chillers par rapport au design.

IV.6 Interprétation des résultats

D'après les résultats obtenus on remarque que :

- La surface d'échange calculée de chacun des chillers E403(A et D) et E404 (A et C) est réduite (varie entre 34,25 et 70,2 m²) par rapport au surface de design (129 m²).
- La surface d'échange calculée de chacun des chillers E403(B et C) et E404-D est moyenne (varie entre 95,44 112,74 m²) par rapport au surface de design (129 m²).
- La surface d'échange calculée de chiller E404-B (qui égale à 126,75) est acceptable par rapport au design.
- Le nombre des chillers selon les calculs est petit 5 contre 8 réellement.

D'après ces résultats, nous avons conclu que la surface d'échange calculée est faible par rapport à la surface installée et le nombre des chillers est petit 5 contre 8 réellement, cela est dû au mauvais transfert de chaleur.

Conclusion générale

Conclusion générale

Durant la réalisation de notre projet de fin d'études qui a été effectué au niveau de la raffinerie d'Arzew, on a pu découvrir le monde industriel et sa complexité. D'autre part on a eu l'opportunité d'appliquer nos connaissances théoriques acquises tout au long des années d'études et d'acquérir de nouvelles connaissances qui pourront nous aider dans notre parcours scientifique et professionnel.

L'unité 400 effectue un processus très important dans l'industrie de raffinage qui est le déparaffinage au MEC/Toluène, son objectif est d'améliorer le point d'écoulement des huiles de base. Or le refroidissement de la charge d'huile paraffinée dans ce procédé confronte un problème majeur qui est l'augmentation de la température de filtration d'où un mauvais point d'écoulement et cela est dû la diminution de la surface d'échange dans les chillers et ceci est confirmée par les calculs de vérification qu'on a effectués. La cause principale de ce problème est l'accumulation de la paraffine dans les tubes internes des chillers à cause de l'arrêt ou le fracassement des racleurs.

Notre travail consiste à faire des calculs de vérification de la surface d'échange de tous les chillers de l'unité 400, et faire une comparaison entre le fonctionnement en design et au réel, afin de connaître les performances de ces équipements. On a pu rapprocher les connaissances théoriques à celles de la pratique et donner la conclusion suivante :

- La surface d'échange calculée est réduite par rapport à la surface installée.
- Le nombre des chillers est petit 5 contre 8 réellement.

À partir de cette étude on peut recommander les solutions suivantes :

- ✓ La réparation des racleurs de tous les chillers
- ✓ Le remplacement des racleurs existants par un autre type de racleur très solide.
- ✓ Le Changement des roulements des arbres tournants chaque 20000 heures de travail afin d'éviter l'arrêt de rotation de ces derniers.
- ✓ Depuis l'année 2009, les chillers de déshuilage sont à l'arrêt et d'après les fiches techniques de l'unité 400, on a remarqué que ces chillers sont identiques avec ceux de déparaffinage, on a proposé donc d'inclure les chillers de déshuilage dans le circuit de déparaffinage pour améliorer le point d'écoulement des huiles de base, faciliter la révision des chillers et augmenter la flexibilité de l'unité 400.

Références
bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Bilan annuel du traitement du pétrole brut : Département Commercial.
- [2] Fiche technique de complexe RA1Z.
- [3] Thomsen, T. C. The Practice of Lubrication: An Engineering Treatise on the Origin, Nature and Testing of Lubricants, Their Selection, Application and Use, New York [etc.] Mc Graw-Hill book company, inc., 1920.
- [4] WUITHIER, P. raffinage et génie chimique, tome 1 Ed. Technip, Paris (1972).
- [5] Bassbasi, M., Hafid, A., Platikanov S., Tauler R., Oussama, A. Study of motor oil adulteration by infrared spectroscopy and chemometrics methods. Fuel 2013 (104), 798–804.
- [6] Pollitt, A. A. Mineral oils for transformers and switchgear. Journal of the Institution of Electrical Engineers - Part II: Power Engineering. 1943 90 (13), 15 – 22.
- [7] El-Shami, S. M., Zaki Selim, I., El-Anwar, I. M., Hassan El-Mallah, M. Journal of the American Oil Chemists Society volume 1992 (69), 872–875.
- [8] John B. Rollins; William D. McCain, Jr.; Todd J. Creeger, Estimation of solution GOR of Black Oils. Journal of Petroleum Technology, 1990 42 (01): 92–94.
- [9] Barry, B. W. and Grace, A. J. Grade variation in the rheology of white soft paraffin B.P. J. Pharm. Pharmacol. 1970 (22), 147S.
- [10] Križan Milić, J., Murić, A., Petrinić, I., & Simonič, M. Recent Developments in Membrane Treatment of Spent Cutting-Oils: A Review. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2013 (52), 7603–7616.
- [11] Département technique: caractéristique sur les différents équipements d’U400.
- [12] A. Bontemps. A. Garrigue. C Goubier. J. Huetz. C. Marvillet. P. Mercier. P. Vidil. « Échangeurs de chaleur- Description des échangeurs ». Technique de l’ingénieur (1995) Réf : [B2341].
- [13] Knudsen J.G, Somerscales E, F, C Equipment : Hemisphere, Wash DC, 1975.
- [14] Échangeurs de chaleur [archive], sur École nationale supérieure des mines de Paris (consulté le 2 février 2015).
- [15] Technique de l’ingénieur : échangeur de chaleur : Description des échangeurs. En PDF.
- [16] Le Raffinage Du Pétrole. Tome 4. Matériels et Equipements. Edition Technip. 1999. Page 238-239.
- [17] Documentation Total. Support de formation Exploration et production Cours des équipements. Total (EXP-PR-EQ120-FR). Révision 0.1 (16-04-2007).

[18] FOSTER WHEELER FRANÇAIS : Procès département HB4.

Annexes

Annexes

Date	05/11/2022	15-nov	21-nov	30-nov	02-déc	03-déc	04-déc	05-dec	16-déc	18-déc	22-déc
Débit total de la charge (m ³ /h)	13,97	14,07	14,04	14,93	15,05	14,52	14,16	14,05	14,42	14,47	14,56
Débit total de solvant de la 1ère dilution (m ³ /h)	35,2	36,42	33,6	37,4	34,04	36,16	34,16	34,11	30,43	30,3	30,42
Débit total de Filtrat (m ³ /h)	94,58	115,67	114,61	102,12	104,31	107,8	102,69	112,24	99,69	99,25	109,74
T° entrée E403A (°C)	53,65	43,76	55,91	42,55	44 ,02	42,56	37,93	46,49	35,56	38,7	45,05
T° sortie E403A (°C)	32,71	27,04	28,93	29,05	28,57	27,89	32,72	31,08	26,37	26,61	31,74
T° sortie E403B (°C)	10,68	7,82	4,53	8,84	9,3	8,2	2,59	11,53	9,35	11,67	12,22
T° sortie E404A (°C)	8,79	1,39	-3,51	0,83	0,89	0,39	2,86	2,46	2,66	4,32	6,5
T° sortie E404B (°C)	-19	-21,79	-24,96	-19 ,2	-19,65	-18,71	-17,49	-19,48	-20,38	-20,86	-19,32
T° entrée E403B(Filtrat) (°C)	-14,25	-18,58	-18,5	-16,94	-17,16	-16,17	-14,81	-15,82	-17,45	-17,6	-17,15
T° sortie E403B (Filtrat) (°C)	1,735	-4,705	-5,73	-2,835	-4,33	-3,435	-1,26	-2,175	-3,65	-4,24	-3,67
T° sortie E403A(Filtrat) (°C)	17,72	9,17	7,04	11,27	8,5	9,3	12,29	11,47	10,15	9,12	9,81
T° entrée E403C (°C)	53,6	43,76	55,91	42,55	44,02	42,56	37,93	46,49	35,56	38,7	45,05
T° sortie E403C (°C)	32,845	28,42	35,665	28,66	29,76	29,29	23,675	31,435	22,645	24,225	28,435
T° sortie E403D (°C)	12,09	13,08	15,42	14,77	15,5	16,02	9,42	16,38	9,73	9,75	11,82
T° sortie E404C (°C)	-4,41	-3,81	-1,825	-1,865	-2,05	-0,84	-3,36	-0,78	-5,055	-5,135	-3,895
T° sortie E404D (°C)	-20,91	-20,7	-19,07	-18,5	-19,6	-17,7	-16,14	-17,94	-19,84	-20,02	-19,61
T° entrée E403D(Filtrat) (°C)	-14,25	-18,58	-18,5	-16,94	-17,16	-16,17	-14,81	-15,82	-17,45	-17,6	-17,15
T° sortie E403D (Filtrat) (°C)	-1,59	-10,15	-6,355	-7,71	-7,88	-7,56	-4,14	-7,315	-10,86	-10,8	-10,52
T° sortie E403C (Filtrat) (°C)	11,07	-1,72	5,79	1,52	1,4	1,05	6,53	1,19	-4,27	-3,99	-3,88
Point d'écoulement (°C)	-9	-9	-9	-6	-6	-9	-9	-9	-12	-9	-9

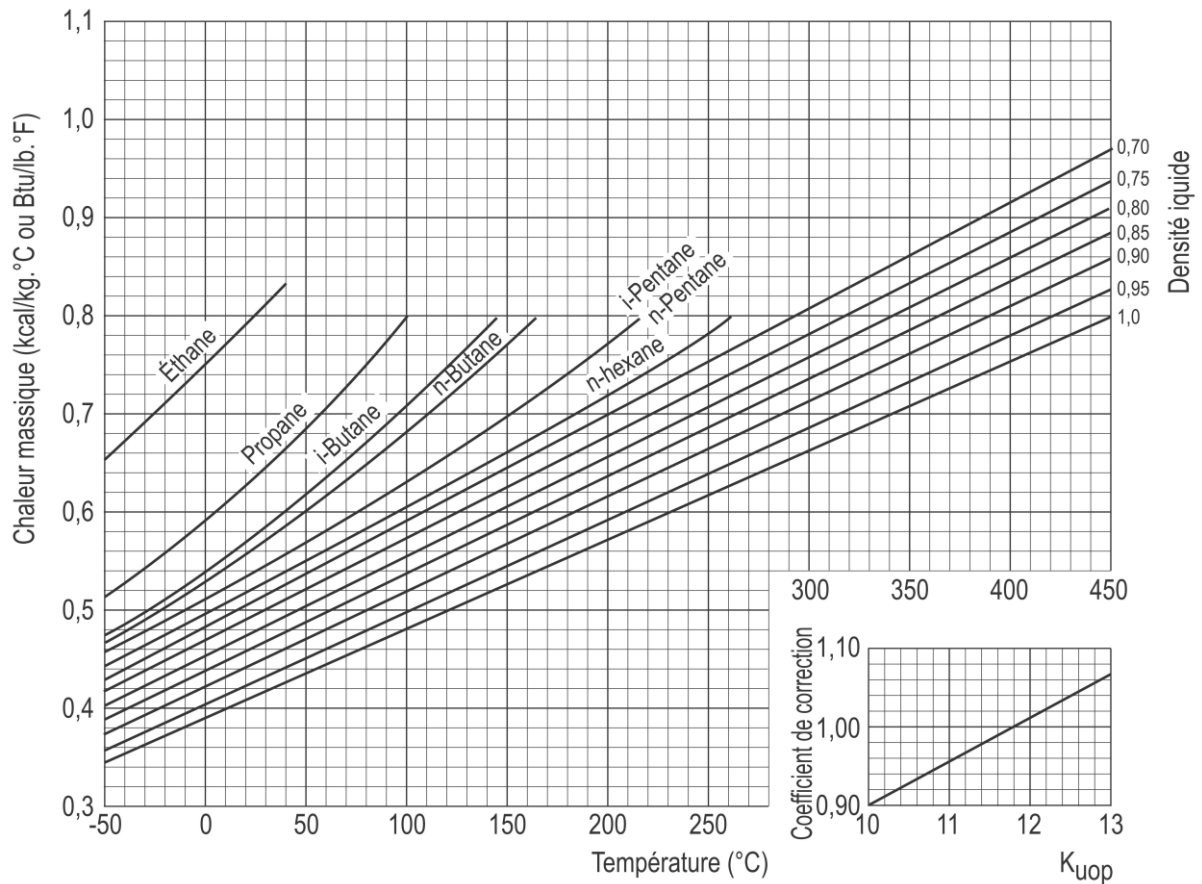
Annexes 1 : Les différents paramètres de l'unité de déparaffinage pour grade SAE30.

$$d_4^\theta = d_4^t + K(t - \theta)$$

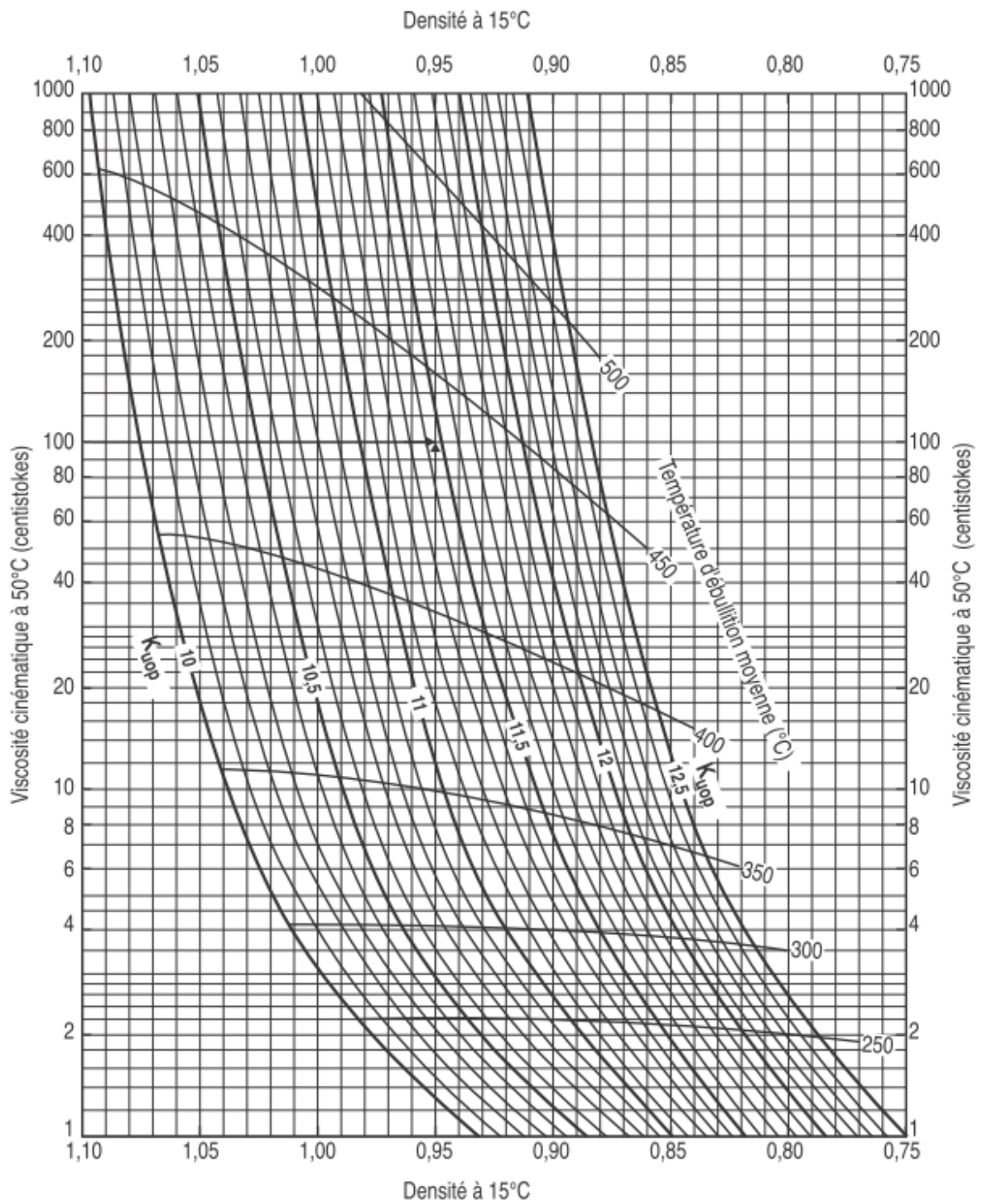
avec K coefficient dépendant de la d_4^{15} du produit pétrolier.

d_4^{15}	0,60 - 0,70	0,70 - 0,76	0,76 - 0,80	0,80 - 0,85	0,85 - 0,88	0,88 - 0,90
K	0,0009	0,00085	0,0008	0,00075	0,00065	0,00062

Annexe 2 : Détermination de la densité.

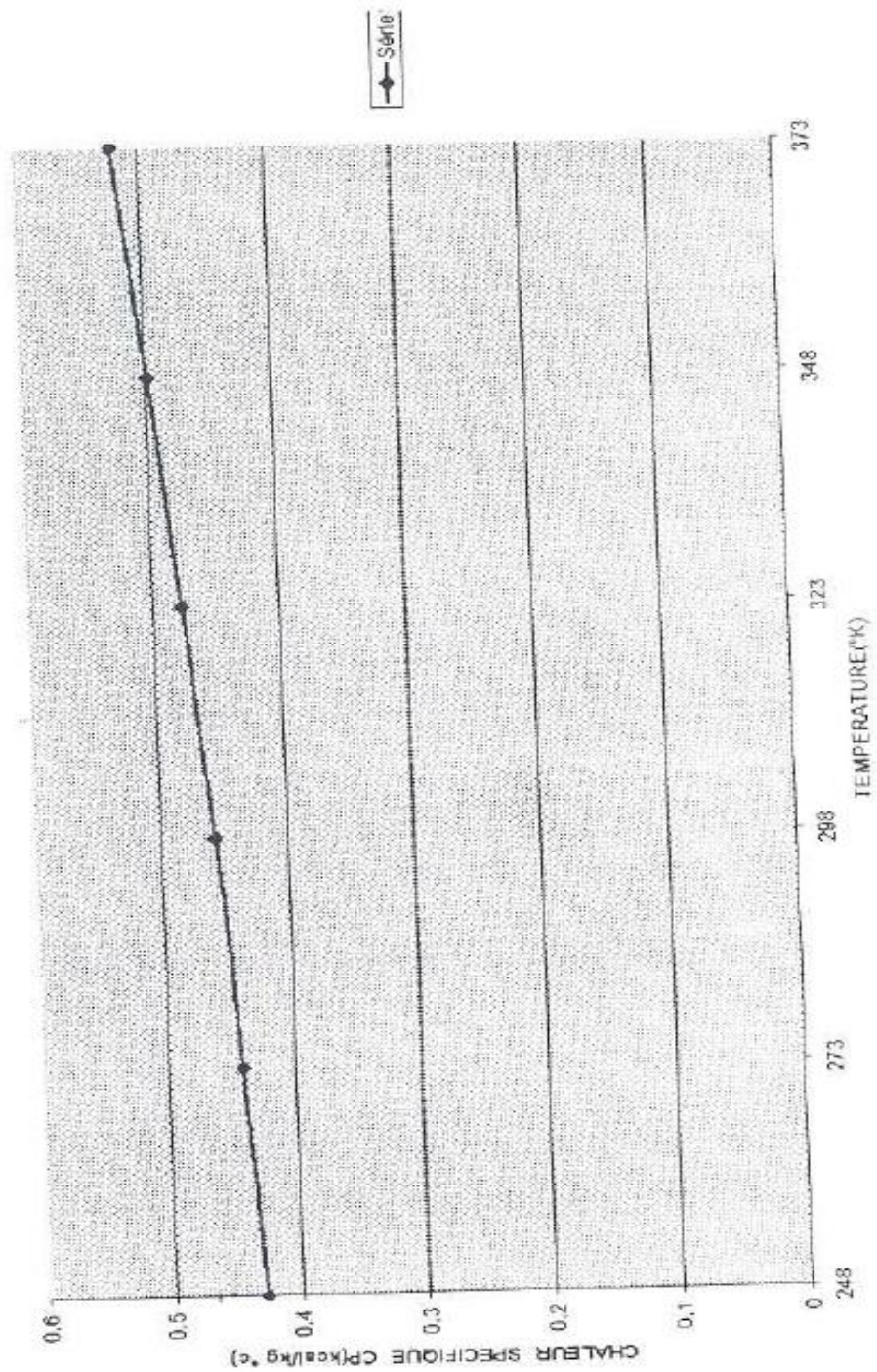


Annexe 3 : Détermination de la chaleur massique des liquides.

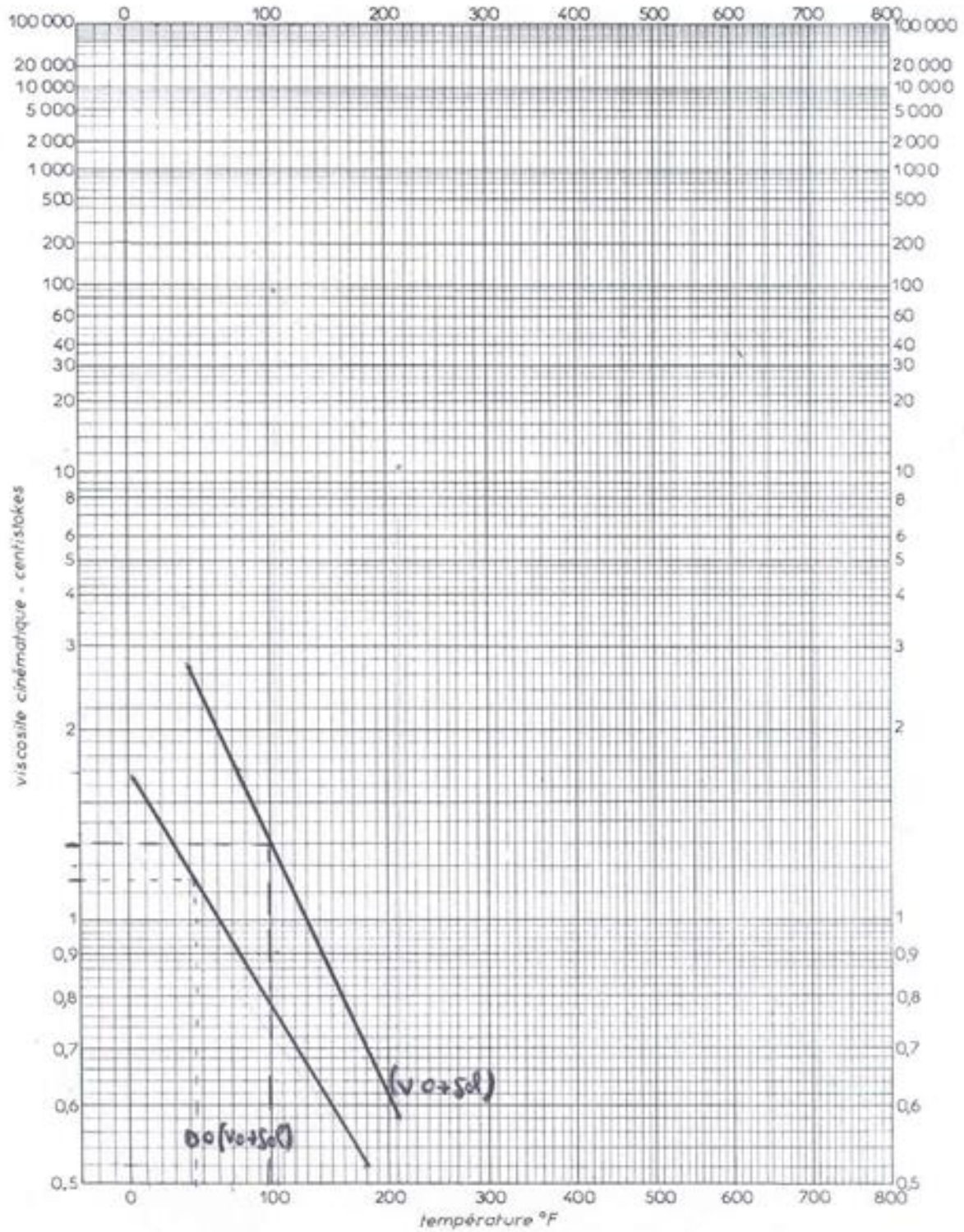


Annexe 4 : Corrélation viscosité-densité- k_{uop} des liquides.

CAPACITE CALORIFIQUE DU SOLVANT MEC/TOLUENE



Annexe 5 : Détermination de la chaleur massique de solvant (MEC / toluène).



Annexe 6 : La viscosité cinématique en fonction des températures.

PRODUITS PÉTROLIERS

DISTILLATIONS ATMOSPHÉRIQUES ET SOUS VIDE		TRAITEMENT DES HUILES	
Essences et kérosène	2	Huile + solvant	4
Gasoil léger	4	Raffinat	2
Gasoil lourd	6	Extrait	5
Résidu atmosphérique	6-8	Solvants (furfuroï, MEK, propane)	2
Résidu sous vide	10	Huile raffinée	2
Asphalte	20		
UNITÉS DE CRAQUAGE		FRACTIONNEMENT DES GAZ	
Vapeurs de tête	4	Alimentation et produits de tête	2
Distillat léger	4	Résidus au rebouilleur	4
Distillat lourd	6-10		

Annexe 7 : détermination de résistance de salissement en $10^4 R_s \text{ h.m}^2.\text{c}^\circ / \text{kcal}$