



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPEREUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES



N° d'ordre : M2/GP/2019

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADIMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option: Génie pétrochimique

Thème

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE PERFORMANCE DES
SCHILLERS DE DEPARAFFINAGE AU NIVEAU DE L'UNITE 400**

Présenté par

1-MOULET LAKHDER

2-MOKHTAR MILOUD

Soutenu le 17/07/ 2019 devant le jury composé de :

Présidente :	DELALI Halima	MAA	Université de Mostaganem
Examineur :	BENZEKRI BENALLOU .M	MCB	Université de Mostaganem
Rapporteur :	DOUARA Nadia	MCB	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2018/2019

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier notre dieu

Nous tenons à remercier particulièrement nos parents,

*Nous tenons à remercions aussi notre encadreur M^{me} Nadia Douara
pour sa Participation et ses conseils prodigies à la realization de ce
travail*

*On exprime notre profond remerciement à notre encadreur de la
zone 05, Mr Ghazli Benyebka pour avoir accueillie dans son équipe. Ses
qualités pédagogiques, ses patiences et ses gentilleses en font des
personnes agréables.*

*Nous voudrions aussi remercier l'équipe de RA1Z (Département
Technique, Département production de leur disponibilité tout au long
de la réalisation de ce travail*

*Nous remercions les members du jury qui ont bien voulu nous honorer de
leur presence et évaluer notre travail*

*Nous remercions aussi tout personne ayant contribuée de prés ou de loin
au déroulement de cette recherche*

Merci...!!

Sommaire

Liste des Abriviations.....	1
Liste des Figures	1
Liste des Tableaux	1
Chapitre I : Généralité sur la raffinerie d'Arzew.....	2
I.1 : Historique et situation du complexe	3
I.2 : Objectifs assignés du complexe.....	3
I.3 : Capacité de production	4
I.4 : Présentation de la principale installation de RA1Z	5
I.4.1: Département de production P1	5
Zone 03 (Les utilités)	5
Zone 04 (Les carburants).....	5
Zone 07 (Les lubrifiants 1).....	6
Zone 10 (production de bitumes):	7
Les Zones de stockage.....	7
I.4.2 : Département de production P2.....	8
Zone 05 (Les huiles de base).....	8
Zone 19 (Les utilités):	8
I.4.3 : Département de production P3.....	9
Zone 06 (Production des huiles finies).....	9
I.4.4 : Département de production P4.....	10
Zone 28 (stockage et expédition):	10
Zone 30 chargements de produits finis.....	10
Zone 27 (Unité 1800 « Station de traitement des effluents »):.....	10
Laboratoire de contrôle.....	10
Département de sécurité industrielle	10
Service prévention.....	10
Service intervention.....	11
Chapitre II : Procédé de déparaffinage à l'unité 400	12
II.1 : Généralité.....	13
II.2 : Principe du procédé de déparaffinage	13
II.2.1 : Choix Du Solvant.....	13
II.2.2 : Les caractéristiques des solvants Mec/Toluène.....	14
II.2.3 : Conditions d'emploi des solvants pour le déparaffinage	15

II.3 : Description du procédés.....	15
II.3.1 : Fabrication d'huile et de paraffines	15
II.3.1.1 : Déparaffinage	15
II.3.1.2 : Fractionnement des paraffines	16
II.3.1.3 : Fractionnement des paraffines-opération de « repulp ».....	17
II.3.2 : Refroidissement du solvant.....	18
II.3.3 : Récupération de l'huile déparaffinés	18
II.3.4 : Récupération de la paraffine dure	19
II.3.5 : Récupération de la paraffine molle (ou de gatsh).....	21
II.3.6 : Récupération de cétone	22
II.3.7 : Réfrigération au propane	22
II.3.8 : Système gaz inerte	23
II.4 : Le transfert de chaleur	25
II.4.1 : Généralité.....	25
II.4.2 : Les différents modes de transfert de chaleur	25
II.4.2.1 : Conduction	25
II.4.2.2 : Convection.....	25
II.4.3 : Types d'échangeurs.....	25
II.4.4 : Description d'un Schiller.....	26
Chapitre III : Problématique et la Recommandation.....	27
III.1 : Généralité.....	28
III.2 : Présentation de problème.....	28
III.2.1 : Problème sur grade SAE 30	28
III.2.2 : Problème sur grade BS	29
III.3 : Vérification des performances des chillers	30
3.1.1 : Schiller E403A.....	30
3.1.2 : Différence moyenne logarithmique de température.....	31
3.1.3 : Expression de la température calorique Tc.....	32
3.1.4 : Détermination des caractéristiques physico-chimiques à Tc, tc:.....	32
3.1.4.1.1 : Coté tube interne	32
3.1.4.1.1.1 : Huile	32
3.1.4.2 : Coté tube externe.....	33
3.1.4.2.1 : Huile déparaffinée (filtrat)	33
3.1.5 : Calcul du coefficient de transfert Us.....	35

3.1.5.1 : Calcul du coefficient de transfert de chaleur coté tube h_{io}	35
3.1.5.2 : Calcul du coefficient de transfert externe h_o	36
3.1.5.3 : Calcul du coefficient de transfert propre:	37
3.1.5.4 : Calcul du coefficient global sale:	37
III.3.2 : Schiller à propane E404A/B/C/D	38
3.2.1 : Schiller E404A.....	38
3.2.2 : Quantité de chaleur dégagée par le mélange d'alimentation Q.....	38
3.2.3 : Différence moyenne logarithmique de temperature	38
3.2.4 : Détermination la densité d_{15}^{15} des vo, MEC, Toluène:.....	39
3.2.5.2 : Détermination de la quantité de chaleur dégagée lors de cristallisation Q_2	40
3.2.6 : Détermination de la surface d'échange de Schiller E404 A	41
Détermination de la surface d'échange total des Schillers E403 et E404 :	42
3.3 : Détermination du nombre des Schillers calculé:	42
Recommandation	43
Conclusion générale	44
Référence bibliographiques	45

Liste des Abréviations

Liste des Abréviations

BRA: Brut Réduit Atmosphérique	BRI: Brut Réduit Importé
SPO: huile de broche	SAE: Société d'ingénieurs automobiles
JGC: compagnie d'essence du japon	GPL: Gaz du pétrole liquéfié
RSV: Résidu Sous Vide	DAO: huile désasphaltée
DO: huile déparaffinée	LSRN: Naphta léger
HSRN: Naphta lourd	LGO: Gasoil léger
HGO: Gasoil lourd	LVGO: gasoil léger sous vide
MVGO: gasoil sous vide moyen	HVGO: gasoil lourd sous vide
VI: Indice de viscosité	Tol: Toluène
MEC: Méthyl éthyle cétone	MVO: Huile mi-visqueuse
Vo: Huile visqueuse	P.P: Poor point (point d'écoulement)
F401: filter	E401: échangeur de chaleur
C402: colonne	P401: pompe
K401: compresseur	D401: ballon
ΔP : Perte de charge	K: coefficient de résistance
d: densité	μ : viscosité dynamique
v: viscosité cinématique	ρ : masse volumique
BS: Stock brillant	SAE 30(VO): huile visqueuse
Cst: Centi stock	Gatsh: Paraffine issue de la filtration
NAFTEC: Société national du raffinage du pétrole	
ASTM: Société américaine pour les tests et matériels	
SAE 10(MVO): huile mi-visqueuse	

Liste des Figures

Liste des Figures

Figure I.1 : Capacité de production des différents produits pétroliers

Figure I.2 : Présentation de la raffinerie schématiquement.

Figure II.1 : Schema principal de l'unité 400

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

Figure III.2: suivi de la variation de point d'écoulement et température de filtration par rapport au design.

Figure III.3 : shéma de schiller E403A

Figure III.4 : shéma de schiller E404A

Liste des Tableaux

Liste des Tableaux

Tableau II.1: Caractéristiques physico-chimique des solvants MEC et toluène

Tableau III.1: les surfaces d'échange calculées des échangeurs E403

Tableau III.2: Quantité de chaleur dégagée par le mélange d'alimentation Q1

Tableau III.3: les surfaces d'échange calculées des réfrigérants E404

Introduction générale

Jusqu'à la fin des années 60 l'objectif unique des unités de déparaffinage était d'améliorer les propriétés à froid des bases d'huile à haut indice de viscosité à la sortie de l'unité d'extraction des aromatiques, qui à ce stade du traitement contiennent essentiellement :

- Des molécules paraffiniques plus ou moins longues et plus ou moins ramifiées
- Des molécules naphthéniques

Parmi les molécules paraffiniques, les molécules à chaîne droite ou peu ramifiées ont tendance à précipiter à température ambiante. Leur présence dans une base d'huile a pour effet une perte de fluidité à des températures courantes d'utilisation; en particulier lors des démarrages à froid des moteurs thermiques ou des machines tournantes, ces molécules cristallisées généraient l'établissement de la circulation de l'huile dans les circuits de lubrification au moment où les variations de température des organes métalliques sont les plus importantes. Il est donc indispensable d'éliminer les molécules paraffiniques à point de cristallisation élevé des raffinats qui en contiennent.

Ce présent projet de fin d'études a structuré en quatre chapitres.

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

Dans le chapitre II, on présentera l'unité 400 et la description du procédé de déparaffinage.

Le chapitre III, sera consacré pour la problématique et la vérification de la surface d'échange des schillers.

Enfin dans le chapitre IV sera concerné par l'étude d'inclusion des chillers de déshuilages dans le circuit de déparaffinage et la vérification des capacités des équipements principaux dans l'unité 400. Ce travail est achevé par une conclusion générale.

Chapitre I : Généralité sur la raffinerie d'Arzew

I.1 : Historique et situation du complexe

La raffinerie d'Arzew a été construite dans le cadre du premier plan quinquennal [1970-1973]. La construction du complexe a été réalisée par la société japonaise « (JGC) » en collaboration avec l'entreprise SONATRACH. La pose de la première pierre a lieu le 19 juin 1970. Le démarrage des unités a été à partir du mois d'Août 1972 par les utilités L'ensemble des unités de la raffinerie était en service en Mars 1973.

Elle est implantée dans la zone industrielle d'Arzew sur le plateau d'Al-Mohgoune. Elle occupe une superficie de 180 hectares répartis comme suit : 150 hectares correspondant aux anciennes des installations construites entre 1970 et 1973, et les 30 hectares restantes correspondent aux installations nouvelles construites entre 1978 et 1983. [1]

I.2 : Objectifs assignés du complexe

Elle a été conçue pour:

Traiter le pétrole brut de Hassi- Messaoud

Traiter le brut réduit importé (pour la production des bitumes)

Satisfaire les besoins de consommation en carburants, en lubrifiants et des bitumes en partie.

Exporter les produits excédentaires.

Pour répondre aux besoins importants de lubrifiants, la construction d'une unité de production de 120000 t/an a été confiée à un consortium Européen en 1978.

Par ailleurs, dans le cadre de mise à niveau et pour répondre aux exigences internationales en matières des spécifications des produits pétroliers, la raffinerie d'Arzew a bénéficié d'un investissement important pour la réhabilitation, la ré instrumentation de ses installations, l'acquisition d'une unité d'isomérisation, et d'une unité d'hydrodésulfuration pour l'augmentation de la capacité de traitement du pétrole brut. Une sous-direction de réhabilitation a été créé pour la réalisation de ces objectifs.

La raffinerie d'Arzew traite 2.5 millions de tonnes par an de pétrole brut pour la production (voir schéma de fabrication): Pour ce faire le complexe de la raffinerie est divisé en plusieurs zones (zones d'unités de production, zone de stockage des produits intermédiaires et produits finis, zone de mélange et expédition, zone de stockage de produits chimiques, pièces de rechange etc...).

I.3 : Capacité de production

La production de la raffinerie est très diversifiée et se compose de

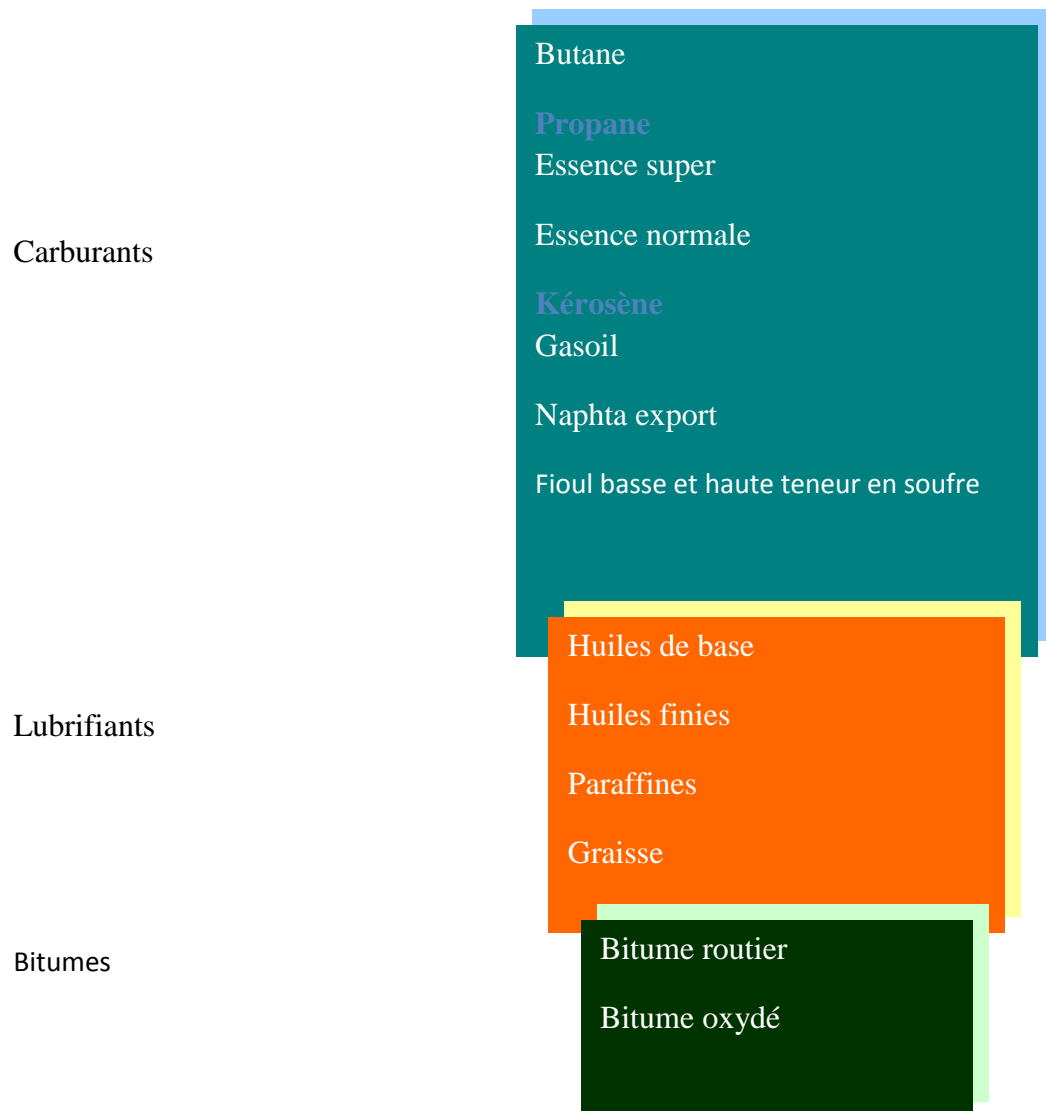


Figure I.1 : Capacité de production des différents produits pétroliers [1].

I.4 : Présentation de la principale installation de RA1Z

La raffinerie d'Arzew comprend quatre départements de production le P1, P2, P3 et P4, chaque département est constituée de plusieurs zones ayant des activités spécifiques.

Chaque département est composé des différentes unités de production, comme suite :

I.4.1: Département de production P1

Ce département concerne la production des 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:

Zone 03 (Les utilités)

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

- **Unité 31:** Production de vapeur d'eau à haute pression qui sert au stripage, et comme energie motrice des turbos générateurs.
- **Unité 32:** Production de l'eau distillée qui est utilisé comme eau d'alimentation pour les chaudière.
- **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.

Zone 04 (Les carburants)

C'est le point de départ du procès de raffinage du pétrole brut

Elle comprend 5 unités:

- **Unité 11:** c'est l'unité de distillation atmosphérique (Topping).Elle a comme rôle la séparation par distillation atmosphérique des 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) provenant de la distillation atmosphérique dans le but de produire une base d'essence à indice d'octane élevé (reformat).
- **Unité 13 : (traitement du gaz):** elle traite le gaz obtenue de l'unité11, 12 et 17 en le séparant en produits purs, tel que le propane et le butane (C₃H₈, C₄H₁₀).
- **Unité 17: (l'isomérisation):** elle traite le naphta léger (LSRN) provenant de la distillation atmosphérique, afin d'améliorer leur l'indice d'octane.
- **Unité 18: (l'unité du système de l'huile chaude):** le rôle de cette unité est de fournir la chaleur (par l'utilisation d'un fluide caloporteur) pour les unités 11 et 17.

Zone 07 (Les lubrifiants 1)

Cette zone a pour but la fabrication des huiles de base à partir de brut réduit atmosphérique (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.
- **Unité 21:**c'est l'unité de distillation sous vide. Elle traite le résidu provenant de l'unité 11 de la zone 4 (BRA) qui est soutiré sous vide, afin d'obtenir des huiles de base semi-finis :
 - Gasoils VGO
 - Huiles SPO (Spindle)
 - Huiles mi-visqueuses (MVO)
 - Huiles visqueuses (VO)
 - Le résidu sous vide (RSV).
- **Unité 22:** c'est l'unité de désasphaltage au propane. Elle traite le résidu sous vide RSV venant de l'unité 21 dans une colonne par l'extraction en utilisant le propane comme solvant, afin d'obtenir une huile désasphaltée (DAO).
- **Unité 23:** elle s'appelle l'unité de l'extraction liquide-liquide. Les huiles Spindle, MVO, VO et DAO produites par les unités 21 et 22, sont envoyées dans cette unité afin d'améliorer leurs indice de viscosité. Ceci est rendu possible grâce à l'élimination des

aromatiques et des naphthènes par le procédé d'extraction liquide-liquide en utilisant furfurole comme solvant. Les huiles obtenues sont :

- Spindle
 - Mi-visqueuse (SAE 10)
 - Visqueuse (SAE 30)
 - Bright Stock (BS)
-
- **Unité 24:** c'est l'unité de déparaffinage des huiles au MEC/toluène. Elle traite les 4 coupes d'huiles obtenues par l'unité 23 en utilisant MEC/TOLUENE comme solvant, afin d'extraire les paraffines. Donc le but est d'améliorer leur point d'écoulement.
 - **Unité 25:** c'est l'unité de l'Hydrofinishing. Elle traite alternativement les huiles déparaffinées obtenues dans l'unité 24 par l'hydrogène dans un réacteur contenant un catalyseur à base de Fe/Co-Mo pour éliminer les impuretés tel que le soufre afin d'améliorer certains paramètres tel que la couleur, l'odeur, la stabilité thermique et la résistance à l'oxydation.

Zone 10 (production de bitumes):

Cette zone concerne la production des bitumes routiers et oxydé,

Elle comprend 2 unités:

- **Unité 14:** c'est l'unité de Flash sous vide. Elle traite un mélange de Brut réduit importé (BRI) l'asphalte qui est récupéré de l'unité 22. Ce mélange est fractionné sous vide en gasoils et en produit visqueux obtenu en fond de colonne, lequel est traité dans la section soufflage à l'air pur pour obtenir des bitumes routiers.
- **Unité 15:** c'est l'unité de Semi Blowing (soufflage). Dans cette unité on procède à l'oxydation de la charge (Bitume routier + Gasoil) afin d'obtenir du bitume oxydé, conditionné dans des sacs de 25 Kg.

Les Zones de stockage

- **Zone 08 et 09:** stockage du résidu atmosphérique dans 2 bacs.
- **Zone 11, 12 et 13:** stockage du brut de Hassi-Messaoud; 3 bacs de 60 000T et 2 bacs de 50000 T.
- **Zone 31:** Contient une torche P1.

I.4.2 : Département de production P2

La réalisation de ce département fut suite aux demandes importantes en lubrifiants, elle comprend trois principales zones:

Zone 05 (Les huiles de base)

Cette zone assure la production des huiles de base (SPO, SAE10, SAE30, BS), elle a une capacité de production de 120 000 T/an. Le traitement se fait de la même façon que dans la zone 07. Elle englobe deux compartiments: HB3 et HB4.

HB3: composé des unités suivantes:

Unité 100: distillation sous vide.

Unité 150: huile caloporteur.

Unité 160: traitement des eaux acides.

Unité 200: désasphaltage au propane.

Unité 300: extraction au Furfural.

HB4: comprend les unités suivantes:

Unité 400: déparaffinage au MEC/Toluène.

Unité 500: hydrofinishing.

Unité 600: hydrogénation des paraffines.

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 distillé et déminé.
- **Unité 1700:** réseau de torche P2.
- **Unité 1800:** traitement des affluents.

- **Unité 280:** production de gaz inerte.

I.4.3 : Département de production P3

Une nouvelle réorganisation des départements de production a ajouté un troisième département qui comprend les zones suivantes:

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 1^{ère} 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.

Unité 3000: (Production des huiles finies et des graisses)

Elle comporte les unités suivantes:

Unité 3100: (Production des huiles finies): 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 3200: Préparation et conditionnement des graisses.

Unité 3300: Conditionnement des paraffines.

Unité 3400, 3500, 3600: Assurent le conditionnement des huiles finies.

Unité 3700 : Installation portuaires, Son rôle consiste :

Au déchargement des additifs importés des navires.

Aux suivis des bacs de stockage (contrôle de température, niveau, pression, etc.)

Au transfert des additifs vers RA1Z par camions citerne.

Au chargement d'huiles de base dans les navires.

Unité 3800: Pomperie eaux brutes.

Unité 3900 : (Production des huiles finies)

Elle est réalisée en 1997, elle assure le conditionnement et le remplissage des huiles finies en bidons de 2 et 5 Litres et de la graisse en pots de 1 Kg.

I.4.4 : Département de production P4

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.

Zone 30 chargements de produits finis

Cette zone est spécialisée dans le chargement des carburants (essences, gaz oil) dans les camions et wagon des trains

Zone 27 (Unité 1800 « Station de traitement des effluents »):

Le rôle de cette zone est récupérer les eaux usées et les traiter. Elle est composée de deux bassins de séparation et de décantation physique (API et PPI).

Laboratoire de contrôle

Durant toutes les étapes de raffinage au niveau des différentes unités, les produits semi-finis et finis sont soumis selon un programme bien défini à un contrôle de qualité rigoureux au niveau du laboratoire.

Avant tout transfert ou expédition de produit fini, un certificat de qualité attestant la conformité de ce produit aux spécifications arrêtées est établi.

Le laboratoire contrôle aussi la qualité des eaux, les rejets et procède aux analyses des différents échantillons spéciaux.

Département de sécurité industrielle

Etant donné les dangers, et les risques continus qui peuvent se présenter dans une raffinerie de pétrole tel qu'explosions, incendies, intoxications, et électrocution. Le rôle du département de sécurité dans ce contexte est primordial pour la préservation du patrimoine humain et matériel. Il comporte 3 services:

Service prévention

Assure les travaux de maintenance, les animations (photos et conseils sensibilisant sur les lieux de travail), l'hygiène de l'unité, et les statistiques des accidents de travail (en utilisant l'arbre des causes).

Chapitre II : Procédé de déparaffinage à l'unité 400

II.1 : Généralité

U.400 où s'effectue le déparaffinage des huiles et la fabrication des paraffines dures pour l'unité d'huiles « lubrifiants Arzew 2 ». Les distillats traité au nombre de trois (spindele, SAE 10, SAE 30), sont issus de l'U.300 d'extraction au furfural.

Le résidu désasphaltée provient, soit de l'U.300 pour donner des bases Bright stocks LP et HP (low pour point, high pour point), soit de l'U.200 de désasphaltage au propane pour donner une base de DAO (désasphaltage oil). Le but de l'unité est de fabriquer des huiles de base à bas point d'écoulement et une gamme de paraffine à point de fusion élevé et faible teneur en huile.

Les huiles déparaffinées produites sont envoyées directement à l'unité d'hydrofinissage des huiles (U.500) et Les paraffines dures produites sont envoyées au stockage intermédiaire avant d'aller à l'hydrotraitement des paraffines (U.600).

Les sous-produits et paraffine molles sont envoyées les premiers au stockage, les seconds au fuel oil.

II.2 : Principe du procédé de déparaffinage

Le procédé utilise la différence de solubilité des huiles et des paraffines dans un solvant composé de toluène-méthyl-éthyle-cétone. La charge mélangé à du solvant est refroidie à une température laissant les paraffines insolubles. Celle-ci sont séparées en continu par les filtres rotatifs

L'ensemble de l'installation comprend des échangeurs et réfrigérants à grattoirs, des filtres rotatifs, trois sections de récupération de solvant, une centrale à froid et un système de gaz inerte [2].

II.2.1 : Choix Du Solvant

Le solvant idéal devrait dissoudre l'huile et faire précipiter toute la paraffine qui devrait se constituer en un réseau de cristaux pas trop serrés pour permettre la filtration de l'huile à travers ce réseau. Certains solvants colorés ainsi que le propane répondent relativement bien à ces conditions et sont employés par certaines raffineries.

Cependant les résultats obtenus, par l'association de ces deux solvants ne se rapprochent pas davantage de l'idéal solvant défini ci-dessus

Le benzène et le toluène sont d'excellents solvants de l'huile mais ils sont aussi un assez bon pouvoir solvant pour la paraffine. En les utilisant seules, on aurait donc un différentiel de température très élevé et de plus, on constaterait que la paraffine cristallise en un réseau très serré qui ne permet pas la filtration.

L'acétone et les cétones supérieures (Méthyle-Éthyle-Cétone, Méthyle-propyl-cétone) au contraire ne dissolvent pas très bien l'huile, mais précipitent très bien la paraffine et, la cristallise tout en retenant un peu d'huile dans les interstices des mailles. On appelle ces corps des anti-solvants

Le mélange de ces deux catégories de solvant, dans des proportions convenables, a tendance à faire obtenir un solvant idéal. Le mélange le plus utilisé est celui du toluène et de Méthyle-Cétone.

- La méthyle-éthyle-cétone (MEK), composé polaire ne dissout pas très bien l'huile, mais il précipite très bien la paraffine. On appelle ce corps un anti-solvant.
- Le toluène a un bon pouvoir solvant pour l'huile et la paraffine même à basse température [2].

II.2.2 : Les caractéristiques des solvants 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.

Tableau II.1: Caractéristiques physico-chimique des solvants MEC et toluène. [3].

Propriétés	MEC	Toluène
Formule chimique développée	$C_2H_5-CO-CH_3$	$C_6H_5-CH_3$
Masse moléculaire (g/mol)	72	92
D^{15}_4	0,807	0,870
Température d'ébullition à	79,7	110,6
Point d'éclair °C	3	4
Température d'auto inflammation °C	515	535
Azéotrope	Oui	Non

II.2.3 : Conditions d'emploi des solvants pour le déparaffinage

Les conditions d'emploi de bi-solvant de manière à obtenir un point d'écoulement fixé au préalable pour de filtrats avec un meilleur rendement et le moins de frais possible sont les suivants:

- Les proportions des deux solvants dans le bi-solvant.
- La dilution totale (proportion de bi-solvant par rapport à l'huile à déparaffiner)
- Le refroidissement du mélange d'alimentation
- Le Lavage du gâteau de mélange du gatsch
- Le réglage des filtres.

On règle la composition du solvant en fonction du grade le plus lourd qui sera à traiter dans l'unité de déparaffinage [4].

II.3 : Description du procédés

II.3.1 : Fabrication d'huile et de paraffines

II.3.1.1 : Déparaffinage

La charge introduit dans l'unité par la pompe P.401 sous contrôle de débit, est mélangée avec une quantité déterminée de solvant humide. De dilution primaire, le mélange est chauffé dans E.401, afin d'éliminer tout germe solide est d'assurer une solution complète, puis refroidir dans l'aéroréfrigérant E.402 avant d'être introduit dans les échangeurs et réfrigérants à grattoirs . A la sortie de E.402 AR, le mélange est séparé en deux courants, l'un contrôlé par mesure de débit FRC.3, l'autre sous contrôle de pression (PRC.1) montés en série (E.403 A-B/C-D). Ces échangeurs consistent essentiellement en deux tubes coaxiaux. La charge (et son solvant) introduite dans le tube interne est refroidie dans l'espace annulaire; la paraffine précipité et est détachés de la paroi par l'action de grattoirs tournants appliquées par des ressorts. Après leur passage dans les échangeurs les deux courants pénètrent dans deux réfrigérants à grattoirs montés en série (E.404 A-B/C-D) où l'évaporateur de propane liquide les refroidit à la température de la filtration.

Une dilution secondaire constituées par du solvant sec contrôle du débit, est introduite soit en amont, soit en aval, soit au milieu du dernier réfrigérant. L'introduction de filtrant recircule a été prévue sur ou après le dernier réfrigérant.

Cependant, pour les bases BS, au lieu de recirculer de déparaffinage on recircule du gatsch à l'aspiration de P.401).

Le mélange d'huile et de paraffine précipitée venant des réfrigérants est introduit dans le ballon d'alimentation des filtres D.401, puis dans les filtres par gravité.

L'huile déparaffinée en solution passe sous l'action du vide à travers le filtre constitué par le tissu et s'écoule vers un ballon de recette du filtrat de déparaffinage D.405, un couteau fixe détourne le gâteau de paraffine vers un convoyeur à vis qui le pousse dans un accumulateur de paraffine vertical.

Ce gâteau de paraffine dénommé « gatsh » est mélangé à du gatsh réchauffé et fondu, afin d'obtenir un mélange facilement pompable. Il est repris par une pompe P.407 est chauffé dans le réchauffeur E.413 où la paraffine en suspension est fondue et mise en solution et envoyée dans le réservoir tampon de mélange de gatsch TK.402. Le filtrat d'huile déparaffinée est pompé à travers les filtres finisseurs F.407 A/B (ΔP max à 1.8 bar) et E.405 A/B (solvant sec-filtrat de déparaffinage) où une quantité considérable de frigories est récupérée. Le filtrat entre en suite dans le système de récupération d'huile.

II.3.1.2 : Fractionnement des paraffines

Le mélange de gatsh du réservoir tampon TK 402 est repris par la P410. Une quantité prédéterminée de solvant de dilution primaire lui ajoutée sous contrôle de débit.

Le mélange obtenu est chauffé dans le réchauffeur E.439, puis refroidie dans deux échangeurs à grattoirs monté en série E.403 E.F.

Le mélange de gatsh est ensuite introduit dans le réfrigérant à grattoirs E.404.E.

A la sortie d'E.404.E, le mélange de gash est introduit dans le ballon d'alimentation du fractionnement D.402 d'où il s'écoule par gravité sous contrôle de niveau dans la cuve du filtre F.405. Le filtrat est recueilli dans le ballon de recette D.406, il est repris par la pompe P.405, passe dans les échangeurs à grattoirs E.403.E.F, puis parvient dans la section de récupération des paraffines molles. Le gâteau paraffiné est lavé avec du solvant sec. Détaché et recueilli dans un convoyeur à vis du filtre. Ce gâteau est dénommé paraffine primaire. [5].

II.3.1.3 : Fractionnement des paraffines-opération de « repulp »

Par cette opération, on récupère la paraffine molle entraînée dans la paraffine primaire. On obtient ainsi une paraffine dure très basse teneur en huile. La paraffine primaire sortant à l'accumulateur de paraffine du filtre de fractionnement est mélangée avec une quantité de solvant, ensuite introduite dans un réfrigérant à grattoirs E.404f.

Le mélange de paraffine primaire refroidi et introduit dans le ballon d'alimentation du filtre de repulp D.403 il s'écoule ensuite par gravité sous contrôle de niveau dans la cuve du filtre de repulp.

Le filtrat de repulp est recueilli dans le ballon de recette D.407. IL consiste pratiquement en solvant mélangé d'un peu de paraffine molle en solution et peut être réutilisé comme solvant en amont du repulp. Le mélange de paraffine dure est mélangé avec une partie du mélange réchauffé, afin d'obtenir une boue facilement pompable. La pompe P.409 expédie le tout vers le réchauffeur de mélange de paraffine dure, E 415 où la paraffine en suspension est fondue. La solution obtenue est envoyée vers le réservoir de mélange de paraffine dure TK.401.

II.3.2 : Refroidissement du solvant

L'unité dispose de trois qualités de solvant:

- **Le solvant sec** : Sera utilisé pour le lavage des gâteaux, pour les dilutions secondaires, comme reflux des différents tours de récupération de solvant, pour le traçage et les lavages chauds des filtres.
- **Le solvant humide** (venant tous les deux des sections de récupération) : Sera utilisé pour les dilutions primaires. Ces deux qualités de solvant viennent des sections de récupération et sont rassemblés dans le ballon D.408. Il arrive toujours dans ce ballon un excès de solvant sec sera déversé vers le solvant humide.
- Le filtrat de repulp : Sera utilisé comme solvant de dilution pour la partie de l'unité située immédiatement en amont du repulp [5].

II.3.3 : Récupération de l'huile déparaffinés

Le système de récupération d'huile déparaffinée qui sépare l'huile du solvant, utilise une évaporation à double effet, la principale source de chaleur étant constituée par évaporateur sur hot oil.

Le filtrat du déparaffinage, après avoir récupéré les calories du solvant sec dans l'échangeur E.405 A/B, est préchauffé dans l'échangeur E.416 (la vapeur du solvant à pression atmosphérique) et dans l'échangeur E.417 (filtrat déparaffinage). Il est ensuite partiellement vaporisé (50% environ) dans l'échangeur E.420 A/B où se condense partiellement les vapeurs de solvant sous pression venant de C.402B. Le filtrat est introduit dans la colonne, C.402A d'évaporation atmosphérique.

Les vapeurs produites sont désurchauffées par un léger reflux de solvant sec et sont envoyées vers E.416, où elles se condensent et se refroidissent avant de s'écouler par gravité dans le côté sec du ballon D.408.

Le liquide restant du filtrat de déparaffinage est repris par la pompe P.402 et envoyé dans le rebouilleur hot oil, E.440 sous contrôle de débit. Il se détend dans la colonne d'évaporation sous pression C.402B. Les vapeurs passent en tête, sont désurchauffées par un léger reflux de solvant sec avant de vaporiser partiellement le filtrat de déparaffinage, par leur commencement de condensation dans l'échangeur E.420 AB.

Elles sont complètement condensées par E.421 avant de parvenir au côté sec de D.408.

Le mélange d'huile déparaffinée venant de C.402B est ensuite détendu dans la colonne d'évaporation atmosphérique finale, C.403A.

Les vapeurs de solvant restantes sont désurchauffées par un léger reflux et rejoignent les vapeurs venant de C.402A

L'huile déparaffinée contenant encore des traces de solvant s'écoule par gravité dans le stripeur C.403 B pour y être épuisée par de la vapeur de stripping surchauffée.

Les vapeurs s'échappent en tête, désurchauffée par un reflux, sont condensées dans E.422 avant de rejoindre le réservoir TK403.

L'huile déparaffinée reprise par la pompe P.413 cède ces calories au filtrat de déparaffinage dans E.417 puis refroidie dans E.418 AR avant de prévenir aux limites de l'unité, sous contrôle de niveau de C.403 B [5].

II.3.4 : Récupération de la paraffine dure

Le mélange de paraffine dure décanté dans TK.401 est repris par la pompe P.411, et chauffé par les vapeurs de solvant à pression atmosphérique venant de C.406A et C.407A dans

l'échangeur E.429. Il parvient ensuite dans l'échangeur E.432 chauffé par la vapeur de solvant sous pression en provenant de C.406B. Le mélange de paraffine dure est introduit dans la colonne C.406A d'évaporation atmosphérique. Les vapeurs produits sont désurchauffées par un léger reflux de solvant sec, puis envoyées dans E.429 où il y a condensation partielle puis dans E.431 AR où il y a condensation totale et sous refroidissement avant de s'écouler par gravité du côté humide de D.408.

Le mélange de paraffine sortant de C.406A repris par la pompe P.414, sous contrôle de débit, est envoyé dans l'évaporateur sous pression, E.433 chauffé à la vapeur MP désurchauffée.

La phase mixte sortant d'E.433 se détient dans la colonne d'évaporation sous pression, C.406B. Les vapeurs passent en tête, sont désurchauffées par un léger reflux de solvant sec, sont condensées dans E.432, puis refroidies dans E.435 AR et parviennent au cotée sec de D.408.

Le mélange de paraffine restant est détendu dans la colonne d'évaporation finale, C.407A après un dernier chauffage dans l'évaporation finale E.434 chauffé à la vapeur MP désurchauffée.

Les vapeurs désurchauffées par un reflux de solvant sec, et rejoignent les vapeurs venant de C.406A avant de parvenir au E429 et E431 et s'écouler par gravité dans le ballon D.408 (sec ou humide).

La paraffine dure contenant encore les traces de solvant est épuisée à la vapeur de stripping dans la colonne C.407B.

Les vapeurs de tête désurchauffées sont condensées dans E.422AR avant de parvenir au réservoir TK.403. La paraffine dure sortant du fond de C.407B est reprise par P.415 et refroidie dans l'échangeur E.430 à l'eau tempérée avant d'être expédiée aux limites de l'unité sous contrôle de niveau de C.407B par la paraffine nette produites **[5]**.

II.3.5 : Récupération de la paraffine molle (ou de gatsh)

Le mélange de paraffine molle après s'être échauffée au contact des vapeurs à pression atmosphériques dans E.423 est vaporisé partiellement dans E.426 par la condensation des vapeurs sous pression venant de C.404B. Le mélange est détendu dans la colonne d'évaporation atmosphérique C.404A.

Les vapeurs désurchauffées par un reflux de solvant sec vont se condenser partiellement dans E.423.

La condensation totale et le refroidissement s'effectuent dans E.425 AR. Le solvant obtenu est dirigé au côté sec du ballon D.408.

Le mélange de paraffine molle contenant encore des traces de solvant est ensuite détendu à pression atmosphérique dans C.405A où les vapeurs restantes de solvant désurchauffées par un reflux de solvant sec, rejoignent les vapeurs de C.404A.

La paraffine molle contenant encore des traces de solvant est ensuite épuisée à la vapeur de stripping dans C.405B. Les vapeurs de tête désurchauffées par du solvant sec sont envoyées vers E.422 AR avant de rejoindre TK.403.

La paraffine molle est envoyée par la pompe P.417 aux limites de l'unité sous contrôle de niveau après refroidie à l'eau tempérée dans l'échangeur E.424.

Quand on ne produit pas de paraffine dure, cette section de récupération de paraffine molle est utilisée pour le gatsh.

Dans les cas de BS et DAO, une fraction supplémentaire de gatsch sortie E.424 peut être recyclée vers la filtration au déparaffinage sous contrôle de débit. [5].

II.3.6 : Récupération de cétone

Les couches aqueuses des différents réservoirs expédiés par la pompe P.421, et le solvant strippé dans les différentes colonnes d'épuisement etc... sont recueillis dans le réservoir de solvant pollué TK.403.

Dans ce réservoir, une séparation en deux couches s'effectue. La couche supérieure consiste principalement en solvant contenant un peu d'huile, alors que la couche inférieure est un mélange d'eau et de cétone dans un rapport pondéral d'environ 83 à 17 %.

La couche aqueuse est reprise par la pompe P.418 et envoyée au strippeur de cétone C.401. De la vapeur BP surchauffée est injectée au bas de la colonne comme source de chaleur. Un azéotrope passe en tête qui contient environ 88% en poids de cétone et est condensé dans E.428 AR avant de parvenir par gravité au TK.403 où la couche riche en solvant est soutirée par P.419 et utilisée comme dilution initiale du déparaffinage. L'eau séparée au fond de C.401 est envoyée à l'égout d'eau chimique en étant reprise par P.424 sous contrôle de niveau, avec la recirculation vers E.428 AR [5].

II.3.7 : Réfrigération au propane

Le système de réfrigération comporte un compresseur centrifuge à deux entrées entraîné par turbine, les ballons d'aspiration correspondant à un ballon accumulateur, un économiseur.

Le propane vapeur provient des utilisateurs (réfrigérants à propane pour les charges à traiter, réfrigérants de solvant, de gaz inerte), à différents niveaux de froid correspondant à différentes températures d'évaporation.

Les vapeurs comprimées sont condensées dans E.438 A/B et parviennent au ballon D.418. Le liquide provenant de ce ballon passe dans l'économiseur E.437 où une partie de ce liquide est vaporisée et le reste est envoyé aux utilisateurs. [5].

II.3.8 : Système gaz inerte

Du gaz inerte est utilisé comme gaz de couverture dans tous les récipients contenant du solvant afin d'éviter la formation de mélanges explosifs et aussi pour fournir un gaz de balayage et de décollement du gâteau dans les filtres.

Un système de gaz inerte situé hors batterie limite de l'unité 400 et comprenant générateur de gaz inerte, compresseurs, échangeurs, sécheurs, permettant de fabriquer deux qualités de gaz inertes:

- Un gaz inerte humide BP
- Un gaz inerte sec HP

Le gaz inerte humide BP couvre les besoins continus de l'unité 400 et est stocké dans le gazomètre T.406.

La pression nécessaire pour le balayage des compartiments et de décollement du gâteau et le vide dans les compartiments des filtres sont obtenus au moyen du compresseur à gaz inerte K.402.

Le gaz inerte sec HP permet de souffler les échangeurs et réfrigérant à grattoirs avec du gaz inerte.

Un éjecteur à vapeur J.401 permet au démarrage la mise sous vide du système de réfrigérant ainsi que celle de l'aspiration de K.402.

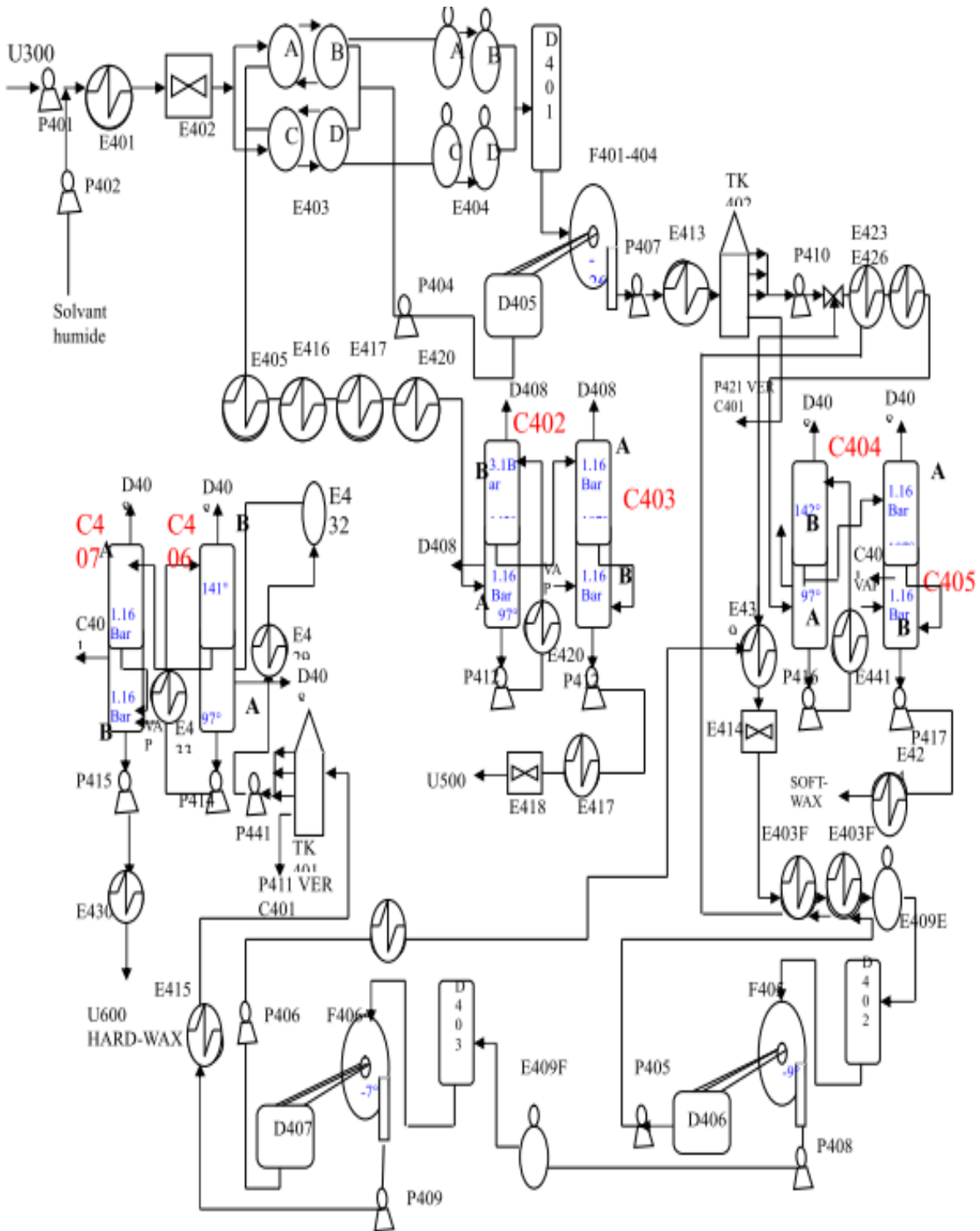


Figure II.1 : Schéma principale de l'unité 400 [5].

II.4 : Le transfert de chaleur

II.4.1 : Généralité

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. Ils peuvent être constitués de deux tubes coaxiaux, ou d'un faisceau de tube parallèles contenus dans une enveloppe, ou encore de système plus complexes permettent d'atteindre une compacité élevée comme dans les échangeurs à plaques. Notons encore que d'autres types d'appareils mettant en jeu la fluidisation de particules solides permettent d'augmenter l'intensité du transfert de chaleur lorsque l'un des fluides (ou les deux) est un gaz.

II.4.2 : Les différents modes de transfert de chaleur

Dans cette étude de transfert thermique, on distingue deux modes de transmission fondamentaux: conduction et convection.

II.4.2.1 : 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.

II.4.2.2 : Convection

C'est le transfert de chaleur d'un point à un autre dans un fluide (gaz ou liquide) par déplacement des particules de fluide. Il y a deux sortes de convection:

- ✓ Convection forcée
- ✓ Convection libre (naturelle)

II.4.3 : Types d'échangeurs

Il existe différents types d'échangeurs selon les objectifs Recherchés.

- Échangeur à tubes en U
- Échangeur à faisceau tubulaire horizontal
- Échangeur à faisceau tubulaire vertical
- Échangeur à spirales
- Échangeurs à plaques
- Échangeurs eau-eau
- Échangeurs air-air
- Échangeur de chaleur rotatif

- Échangeur à bloc
- Échangeur à ailettes
- Échangeur à fils fins

II.4.4 : Description d'un Schiller

Un Schiller est un échangeur tubulaire permettant de refroidir le mélange (charge + solvant) en prenant des frigories à un fluide froid.

Les racleurs sont des lames de métal fixées par des ressorts à un arbre d'entraînement. La technologie des racleurs présente quelques variantes (fixation à l'arbre par des ressorts; système Worthington, ou par des feuilles de métal ayant une flexibilité donnée; système Vogt, mais les principes de base restent les mêmes.

Ces racleurs procurent une agitation favorable à la croissance des cristaux. Ils permettent également d'éviter l'accumulation de paraffine sur la paroi du Schiller, dégradant le coefficient d'échange, voire en situation extrême pouvant provoquer le bouchage complet de l'appareil. Il est donc extrêmement important que ces racleurs soient en bon état. Leur degré d'usure doit être vérifié périodiquement,

Chapitre III : Problématique et la Recommandation

III.1 : Généralité

L'unité de déparaffinage au mec connaît certains problèmes mécaniques au niveau de ses équipements tels que les Schillers et les filtres.

Parmi ces problèmes, le bouchage répétitif dans les tubes intérieur des chillers causé par détérioration des racleurs et donc vont stopper la rotation de l'arbre qui influent directement sur le refroidissement de la charge.

Le point d'écoulement dépend de plusieurs facteurs:

Le refroidissement uniforme dans les chillers.

La température de filtration.

La composition du solvant (MEC/Toluène).

L'état des filtres.

Température du solvant froid.

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

III.2 : Présentation de problème

III.2.1 : Problème sur grade SAE 30

Durant ce suivi, le point d'écoulement varie entre -9°C et -6°C pour la charge SAE30 malgré qu'on travaille avec 100% de taux de charge.

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

- ✓ Taux de charge 100%
- ✓ Rapport de solvant 50% MEC et 50% toluène.
- ✓ Filtres en bon état.

Les résultats obtenus sont reportés dans la figure suivante :

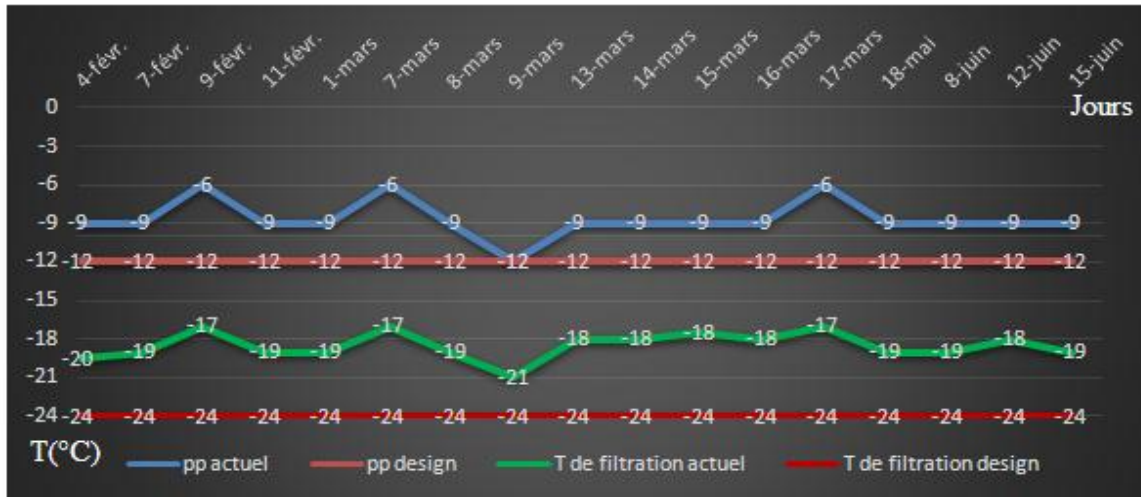


Figure III.1: Suivis de la variation de point d'écoulement et température de filtration par rapport au design.

A partir de ces résultats, on remarque que la température de filtration actuel (varie entre -17 °C à -21 °C) est loin par rapport à la température de filtration de design qui influe directement sur le point d'écoulement (varie entre -6 °C à -9 °C).

III.2.2 : Problème sur grade BS

Durant ce suivi, le point d'écoulement varie entre -9 °C et -3 °C pour la charge BS malgré qu'on travaille avec un taux de charge réduit qui varie entre 54 et 70.

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

- Rapport de solvant 47% MEC et 53% toluène.
- Filtres en bon état.

Les résultats obtenus sont reportés dans la figure suivante

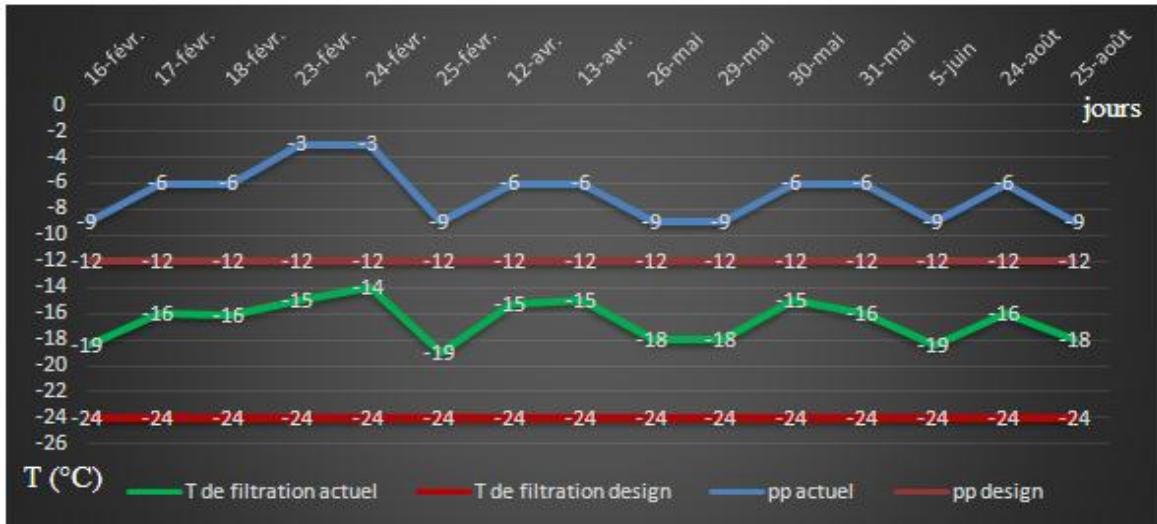


Figure III.2: Suivi de la variation de point d’écoulement et température de filtration par rapport au design

A partir de ces résultats, on remarque que la température de filtration actuel (varie entre -15 °C à -19 °C) est loin par rapport à la température de filtration de design qui influe directement sur le point d’écoulement (varie entre -3 °C à -9 °C).

D’après les résultats obtenus, nous concluons que la température de filtration actuel est instable et supérieure que la température de filtration de design, pour cette raison la vérification des performances des chillers est nécessaire.

III.3 : Vérification des performances des chillers

III.3.1 : Chillers E403A/B/C/D

3.1.1 : Schiller E403A

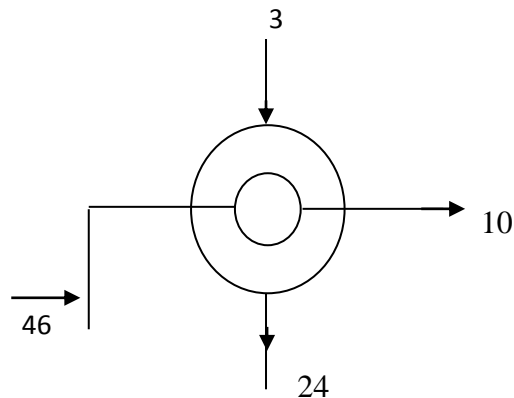


Figure III.3 : schéma de Schiller E403A

Les données de base

Côté tube interne circule la charge (huile paraffin e (VO) + solvant)

Côté tube externe circule filtrat (huile d paraffin e (DO) + solvant)

$$\text{Charge: } M = 26,6 \text{ m}^3/\text{hr} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{VO} = 8,9 \text{ m}^3/\text{hr} \\ \text{Solvant} = 17,7 \text{ m}^3/\text{hr} \end{array} \right.$$

$$\text{Filtrat } M' = 57 \text{ m}^3/\text{hr} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{DO} = 8,55 \text{ m}^3/\text{hr} \\ \text{Solvant} = 48,45 \text{ m}^3/\text{hr} \end{array} \right.$$

Proportion volumique:

$$\text{Charge (VO + S)} \quad \left\{ \begin{array}{l} X_{\text{VO}} = 33,33 \% \\ X_{\text{S}} = 66,66 \% \end{array} \right.$$

$$\text{Filtrat (DO + S)} \quad \left\{ \begin{array}{l} X_{\text{DO}} = 15 \% \\ X_{\text{S}'} = 85 \% \end{array} \right.$$

Hypothèse: pour appliquer la méthode de Ken, on suppose que l'échangeur à double tuyaux est un échangeur à double tube [6].

3.1.2 : Différence moyenne logarithmique de température

$$\text{DTLM} = \Delta t_e - \Delta t_s / \text{Ln} (\Delta t_e / \Delta t_s)$$

$$\Delta t_e = T_1 - t_2$$

$$\Delta t_s = T_2 - t_1$$

Donc:

$$\Delta t_e = T_1 - t_2 = 36 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_s = T_2 - t_1 = 21 \text{ °C}$$

Et donc:

$$DTLM = 27,8 \text{ °C}$$

3.1.3 : Expression de la température calorique T_c

$$t_c = 0.5 (t_2 + t_1)$$

$$T_c = 0.5 (T_1 + T_2)$$

Donc:

$$T_c = 35 \text{ °C}$$

$$t_c = 6,5 \text{ °C}$$

3.1.4 : Détermination des caractéristiques physico-chimiques à T_c , t_c :

3.1.4.1 : La densité

3.1.4.1.1 : Coté tube interne

3.1.4.1.1.1 : Huile

$$d^{15}_{4vo} = 0,865$$

$$d^{T_c}_{vo} = d^{15}_{vo} + K (15 - T_c) \Rightarrow d^{T_c}_{vo} = 0,852$$

$$K = 0,00065 \quad (\text{voir annexe 1})$$

3.1.4.1.1.2 : Solvant (MEC, toluène)

Pour un mélange on a :

$$d^{15}_{sol} = (d^{15}_{tol} * X_{tol}) + (d^{15}_{mec} * X_{mec})$$

$$d^{15}_{tol} = 0,870 \quad , \quad X_{tol} = 0,5 \quad \Rightarrow \quad d^{15}_{sol} = 0,839$$

$$d^{15}_{mec} = 0,807 \quad , \quad X_{mec} = 0,5$$

$$d^{T_c}_{sol} = d^{15}_{sol} + k (15 - T_c)$$

$$K = 0,00075 \quad (\text{voir annexe 1}) \quad \Rightarrow \quad d^{T_c}_{sol} = 0,824$$

3.1.4.1.2 : Densité de la charge

$$d_{vo+sol}^{15} = d_{vo}^{15} \cdot X_{vo} + d_{sol}^{15} \cdot X_{sol} = 0,847$$

$$d_{vo+sol}^{t_c} = d_{vo}^{t_c} \cdot X_{vo} + d_{sol}^{t_c} \cdot X_{sol} \quad \Rightarrow \quad d_{vo+sol}^{t_c} = 0,833$$

3.1.4.2 : Coté tube externe**3.1.4.2.1 : Huile déparaffinée (filtrat)**

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

$$d_{do}^{t_c} = d_{do}^{15} + K(15 - t_c) \quad \Rightarrow \quad d_{do}^{t_c} = 0,881$$

$$K = 0,00065 \quad (\text{voir annexe 1})$$

3.1.4.2.2 : Solvant (MEC, Toluène)

$$d_{sol}^{15} = 0,839$$

$$d_{sol}^{t_c} = d_{sol}^{15} + K(15 - t_c) \quad \Rightarrow \quad d_{sol}^{t_c} = 0,845$$

$$K = 0,00075 \quad (\text{voir annexe 1})$$

3.1.4.2.3 : Densité de filtrat (huile déparaffiné +solvant)

$$d_{4do+sol}^{15} = 0,844$$

$$d' = d_{vo}^{t_c} \cdot x'_{vo} + d_{sol}^{t_c} \cdot x'_{sol} \quad \Rightarrow \quad d_{do+sol}^{t_c} = 0,850$$

3.1.4.3.: La masse volumique

$$\rho = \rho^{t_c}(\text{charge}) = 833 \text{ Kg/m}^3$$

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

3.1.4.4 : La chaleur spécifique**3.1.4.4.1 : Coté tube interne**

On a: $d_{vo} = 0,865$ et v_{vo} à $50^\circ\text{C} = 50 \text{ cst}$ (analyse de laboratoire)

a partir des annexes 2,4 , $C_{pvo} = 0,5 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C}$

a partir des annexes 09 , $C_{psol} = 0,47 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C}$

$$C_p = (x_{vo} \cdot C_{pdo} + x_{sol} \cdot C_{psol})$$

x: fraction massique

$$\text{Donc: } C_p = 0,48 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

3.1.4.4.2 : Coté tube externe

On a: $\nu_{do} = 0,875$ et ν_{do} à $50^\circ\text{C} = 55 \text{ Cst}$

a partir des annexes 2,4 , $C_{pdo} = 0,468 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

a partir des annexes 11 , $C_{psol} = 0,440 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

$$c_p = (x_{do} \cdot C_{pdo} + x_{sol} \cdot C_{psol})$$

x :fraction massique

$$\text{donc : } C_p = 0,444 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

3.1.4.5 : La conductivité thermique

3.1.4.5.1 : Coté tube interne

T_c en $^\circ\text{K}$

$$\lambda = 0,17 - 1,418 \cdot 10^{-4} \cdot T_c$$

$$\lambda = 0,1263 \text{ W/m.K}$$

$$\lambda = 0,1086 \text{ kcal/h.m} \cdot ^\circ\text{C}$$

3.1.4.5.2 : Coté tube externe

$$\lambda = 0,17 - 1,418 \cdot 10^{-4} \cdot T_c$$

$$\lambda = 0,1303 \text{ W/m.K}$$

$$\lambda = 0,112 \text{ kcal/h.m} \cdot ^\circ\text{C}$$

3.1.4.6 : La viscosité

3.1.4.6.1 : Coté tube interne

(T_c en $^\circ\text{F}$) (voir annexe 3)

$$\nu = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec} \quad \Rightarrow \quad \mu = 1,083 \times 10^{-3} \text{ Kg/m} \cdot \text{sec}$$

3.1.4.6.2 : Coté tube externe

(tc en °F) (Voir annexe 3)

$$\nu' = 1,15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec} \quad \Rightarrow \quad \mu' = 0,977 \times 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{sec}$$

3.1.4.7 : Quantité de chaleur thermique

$$Q1 = p. M. Cp \cdot (T1-T2) \quad \Rightarrow \quad Q1 = 233986 \text{ kcal/h}$$

$$Q2 = p' \cdot M' \cdot Cp' \cdot (t2-t1) \quad \Rightarrow \quad Q2 = 150645 \text{ kcal/h}$$

$$Q = (Q1+Q2)/2 \quad \Rightarrow \quad Q=192315\text{kcal/h}$$

3.1.5 : Calcul du coefficient de transfert Us

3.1.5.1 : Calcul du coefficient de transfert de chaleur coté tube h_{io}

- Régime d'écoulement:

$$Re_t = \frac{Gt \cdot d_i}{\mu}$$

Gt : Vitesse massique

$$Gt = \frac{\rho \times M}{a_t} \quad \text{Avec} \quad a = \frac{\pi \cdot d_i^2}{4}$$

$$\Rightarrow \quad a_t = 0,032 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow \quad Gt = 193,11 \text{ kg / m}^2 \cdot \text{s}$$

$$Ret = 35932,8 \quad \{ \text{Régime turbulent} \}$$

a partir ces formules on peut calculer hio

$$j_\eta = \frac{h_i \cdot d_i}{\lambda} \times \left(\frac{cp \cdot \mu}{\lambda} \right)^{-1/3} \times \phi_t^{-1} = 0.36 Re^{0.55}$$

$$\frac{h_i}{\Phi_t} = j_\eta \times \frac{\lambda}{d_i} \times \left(\frac{cp \cdot \mu}{\lambda} \right)^{1/3}$$

$$\frac{h_{io}}{\Phi_t} = \frac{d_i}{d_o} \times \left(\frac{h_i}{\Phi_t} \right)$$

On à $u_t = 0,00125 \text{ kg/m.sec}$

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

$h_{io} = 144,68 \text{ kcal/h. m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

3.1.5.2 : Calcul du coefficient de transfert externe h_o

- Régime d'écoulement:

$$Re_a = \frac{Ga \cdot d_e}{\mu'}$$

Ga: Vitesse massique

d_e : Diamètre équivalent

$$d_e = \frac{D_i^2 - d_o^2}{d_o} \Rightarrow d_e = 0,0824 \text{ m}$$

$$G_a = \frac{\rho' \cdot M'}{a_a} \Rightarrow a_a = \frac{\pi}{4} (D_i^2 - d_o^2)$$

$$a_a = 0.01489 \text{ m}^2 \Rightarrow G_a = 950,5 \text{ kg/ m}^2 \cdot \text{s}$$

$Re_a = 80050,21$ { Régime turbulent }

a partir ces formules on peut calculer h_o

$$j'_\eta = \frac{h_o \cdot d_e}{\lambda'} \times \left(\frac{cp' \cdot \mu'}{\lambda'} \right)^{-1/3} \times \phi_a^{-1} = 0.36 Re_a^{0.55}$$

$$\frac{h_o}{\Phi_a} = j'_\eta \times \frac{\lambda'}{d_e} \times \left(\frac{cp' \cdot \mu'}{\lambda'} \right)^{1/3}$$

On $u_t' = 0.000697 \text{ kg/m.sec}$

$$\phi_a = \left(\frac{\mu'}{\mu_t'} \right)^{0.14}$$

t_t : Température du tube

$$t_t = T_c - \frac{\frac{h_{io}}{\Phi_t}}{\frac{h_{io}}{\Phi_t} + \frac{h_o}{\Phi_a}} \cdot (T_c - t_c)$$

$$t_t = 29,22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$h_o = 614,93 \text{ kcal/h. m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

3.1.5.3 : Calcul du coefficient de transfert propre:

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

$$U_p = 117,123 \text{ kcal /h . m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

3.1.5.4 : Calcul du coefficient global sale:

$$U_s = \frac{1}{\frac{1}{U_p} + R_s}$$

R_s : résistance de salissement = $0.0004 \text{ h. m}^2 \cdot ^\circ\text{C /kcal}$ (annexe 5)

$$U_s = 111,882 \text{ kcal/h. m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

3.1.6 : Surface d'échange calculé

$$A_s = \frac{Q}{U_s \cdot DTLM}$$

$$A_s = 62 \text{ m}^2$$

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 III.1 : les surfaces d'échange calculées des échangeurs E403

Chillers	T ₁	T ₂	t ₁	t ₂	Surface d'échange (m ²)
E403 A	46	24	3	10	62
E403 B	24	10	-15	3	104
E403 C	46	12	-6	15	121
E403 D	12		-15	-6	79

III.3.2 : Schiller à propane E404A/B/C/D

3.2.1 : Schiller E404A

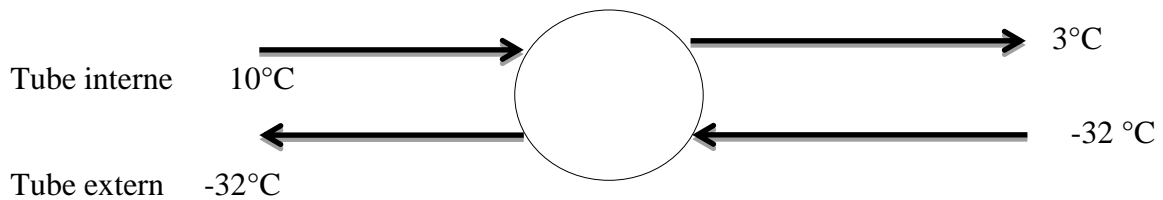


Figure III.4 : schéma de schiller E404A

3.2.2 : Quantité de chaleur dégagée par le mélange d'alimentation Q

3.2.3 : Différence moyenne logarithmique de temperature

$$DTLM = \Delta t_e - \Delta t_s / (\ln \Delta t_e / \Delta t_s)$$

$$\Delta t_e = T_1 - t_2 = 42 \text{ °C}$$

$$\Delta t_s = T_2 - t_1 = 35 \text{ °C}$$

$$DTLM = 38,4 \text{ °C}$$

3.2.4 : Détermination la densité d_{15}^{15} des vo, MEC, Toluène:**3.2.4.1 : La densité de vo :**

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

$$d_{15vo}^{15} = d_{4vo}^{15} / 0,99904 \quad \Rightarrow \quad d_{15vo}^{15} = 0,8658$$

3.2.4.2 : La densité de mec :

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

$$d_{15mec}^{15} = d_{4mec}^{15} / 0,99904 \quad \Rightarrow \quad d_{15mec}^{15} = 0,8078$$

3.2.4.3 : La densité de toluène:

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

$$d_{15tol}^{15} = d_{4tol}^{15} / 0,99904 \quad \Rightarrow \quad d_{15tol}^{15} = 0,8708$$

3.2.5 : Détermination de la quantité de chaleur dégagée**3.2.5.1 : Quantité de chaleur dégagée par le mélange d'alimentation Q_1 .**

Q_1 est déterminée par l'équation du bilan thermique:

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

D'où

h_1 : chaleur sensible du mélange d'alimentation à T_1

h_2 : chaleur sensible du mélange d'alimentation à T_2

$$h_1 = \sum H_i^{T_1} \cdot x_i$$

$$h_2 = \sum H_i^{T_2} \cdot x_i$$

D'où

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

x_i : composition massique du composant « i ».

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

$$H_1 (T_1) = 0,403. T_1 + 0,000405. (T_1)^2 / \sqrt{\rho^{15}_{15}}$$

$$H_2 (T_2) = 0,403. T_2 + 0,000405. (T_2)^2 / \sqrt{\rho^{15}_{15}}$$

Tableau III.2 : Quantité de chaleur dégagée par le mélange d'alimentation Q_1

Produit	G_i	X_i	$H_1 (T_1)$ kcal/kg	h_1 $x_i.H_i$	$H_2 (T_2)$ kcal/kg	h_2 $x_i.H_i$
Charge	7669,7	0,3403	4,375	1,4885	1,303	0,4434
MEC	7155,4	0,3175	4,529	1,4378	1,349	0,4288
Toluène	7714	0,3423	4,362	1,4928	1,299	0,4447
TOTAL	22 539,1	1	-	4,419	-	1,316

Alors $Q_1 = 22\,539,1 \times (4,419 - 1,316)$

$$Q_1 = 69\,932,303 \text{ kcal/h.}$$

3.2.5.2 : Détermination de la quantité de chaleur dégagée lors de cristallisation Q_2

$$Q_2 = (G_{\text{charge}} \cdot \alpha \cdot L_c) / 100$$

D'où :

L_c : la chaleur latente de cristallisation de la paraffine ($L_c = 38,96 \text{ kcal/kg}$)

α : le pourcentage massique des hydrocarbure solide qui se dégagent au cours du refroidissement, $\alpha = [(T_1 - T_2) / (T_H - T_f)] \cdot A \cdot 100$

T_H : température initiale de cristallisation correspond à l'apparition des cristaux, vu que la valeur T_H ne peut être trouvée qu'approximativement, on prend $T_H = T_1$

T_f : température de filtration

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

$$Q_2 = 14\,425,321 \text{ kcal/h}$$

Donc:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 84\,357,62 \text{ kcal/h}$$

3.2.6 : Détermination de la surface d'échange de Schiller E404 A

$$U_s = 30-100 \text{ kcal/h. m}^2. \text{ }^\circ\text{C}$$

$$U_s = 40$$

$$A_c = \frac{Q}{U_s \cdot DTLM} \Rightarrow \boxed{A_c = 54,9 \text{ m}^2}$$

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

Tableau III.3 : les surfaces d'échange calculées des réfrigérants E404

Chillers	T ₁	T ₂	t ₁	t ₂	Surface d'échange
E404 A	10	3	-32	-32	55
E404 B	3	-19	-32	-32	127
E404 C	2	-6	-32	-32	67,7
E404 D	-6	-19	-32	-32	112,5

Détermination de la surface d'échange total des Schillers E403 et E404 :

La surface d'échange total des Schillers est la Somme de toute les Schillers.

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

$$A_{C \text{ total}} = 731 \text{ m}^2$$

3.3 : Détermination du nombre des Schillers calculé:

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

$$n = A_{C \text{ total}} / A_{\text{reel}}$$

D'où

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

$$n = 728 / 129 = 5,7 \quad n \approx 6$$

Recommandation

D'après ces résultats, nous avons conclu que le nombre des chillers selon les calculs est petit 6 contre 8 réellement et la surface d'échange calcul e de ces derniers est faible par rapport à la surface install e, cela est dû au mauvais transfert de chaleur

Depuis l'année 2009, les schillers de déshuilage sont à l'arrêt et d'après les fiches techniques des schillers de l'unité 400, nous avons conclu que les schillers de déshuilage sont identiques que les schillers de déparaffinage, donc on a proposé de faire une modification pour introduire les schillers de déshuilage dans le circuit de déparaffinage pour améliorer le point d'écoulement des huiles de base

Conclusion générale

Dans ce modeste travail on a étudié un procédé très important dans l'industrie de raffinage qui est le déparaffinage au MEC/Toluène qui a pour but d'améliorer le point d'écoulement des huiles de base. Cependant le refroidissement de la charge dans ce procédé confronte un problème majeur qui est l'augmentation de la température de filtration dû la diminution de surface d'échange dans les schillers et cela est confirmée par des calculs de vérification.

A partir de cette étude on a proposé une solution efficace et économique pour diminuer la température de filtration, on a proposé la possibilité d'introduire les schillers de déshuilage dans le circuit de déparaffinage pour pouvoir d'améliorer le froid et d'augmenter le taux de charge avec une bonne qualité d'huile déparaffiné.

Référence bibliographiques

- [1] Fiche Technique de complex RA1/Z
- [2] P.WUTHIER, raffinage et génie chimique, tome 1.
- [3] Département technique: caractéristique sur les différents équipements d'U400
- [4] B.M.REBEKH, Analyse de pétrole et des produits pétroliers.1982.
- [5] Manuel opératoire de l'unité de déparaffinage U400
- [6] KERN: instruction méthodique sur le calcul de l'installation de déparaffinage.

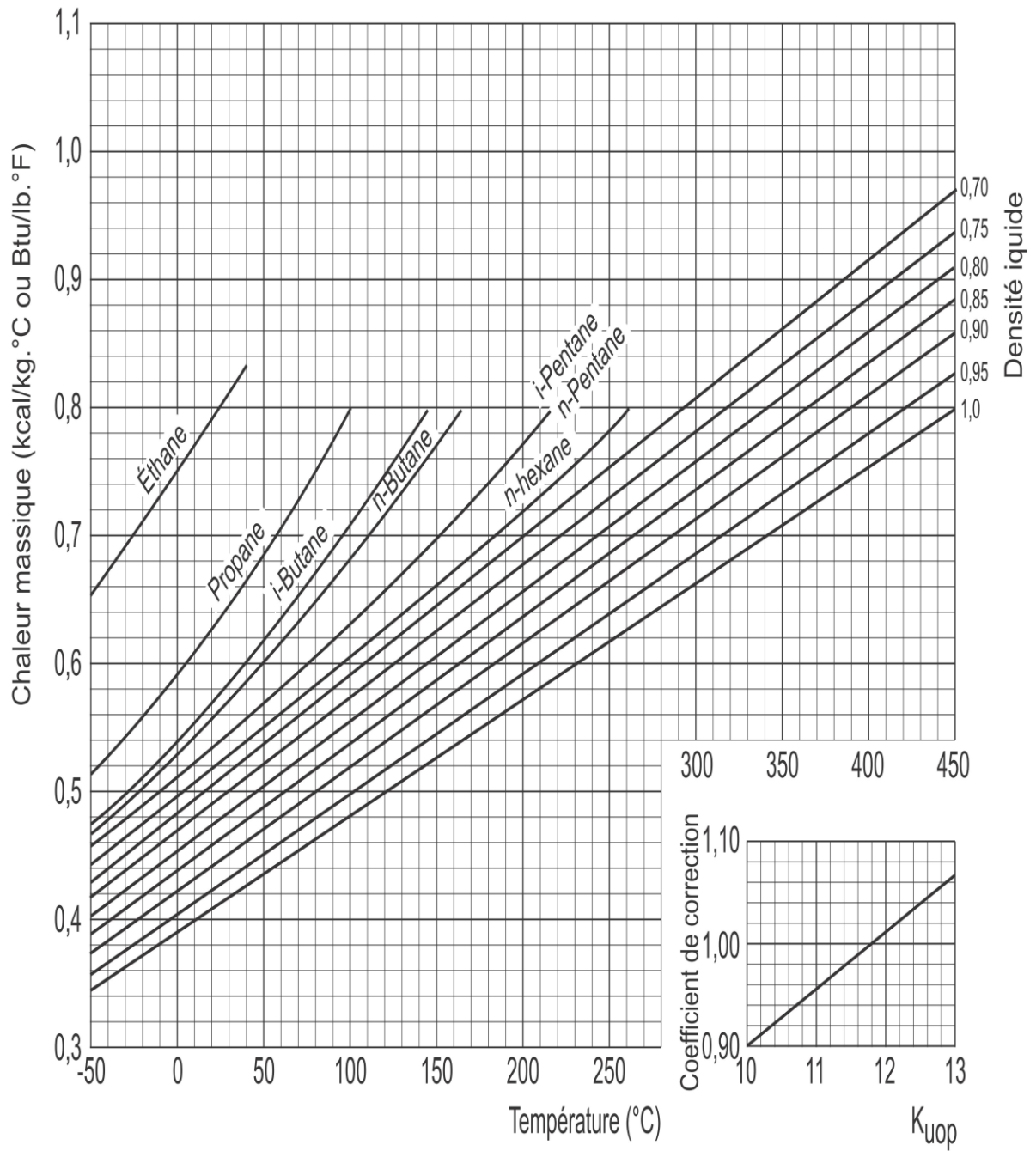
Annexe 1: Détermination de densité

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

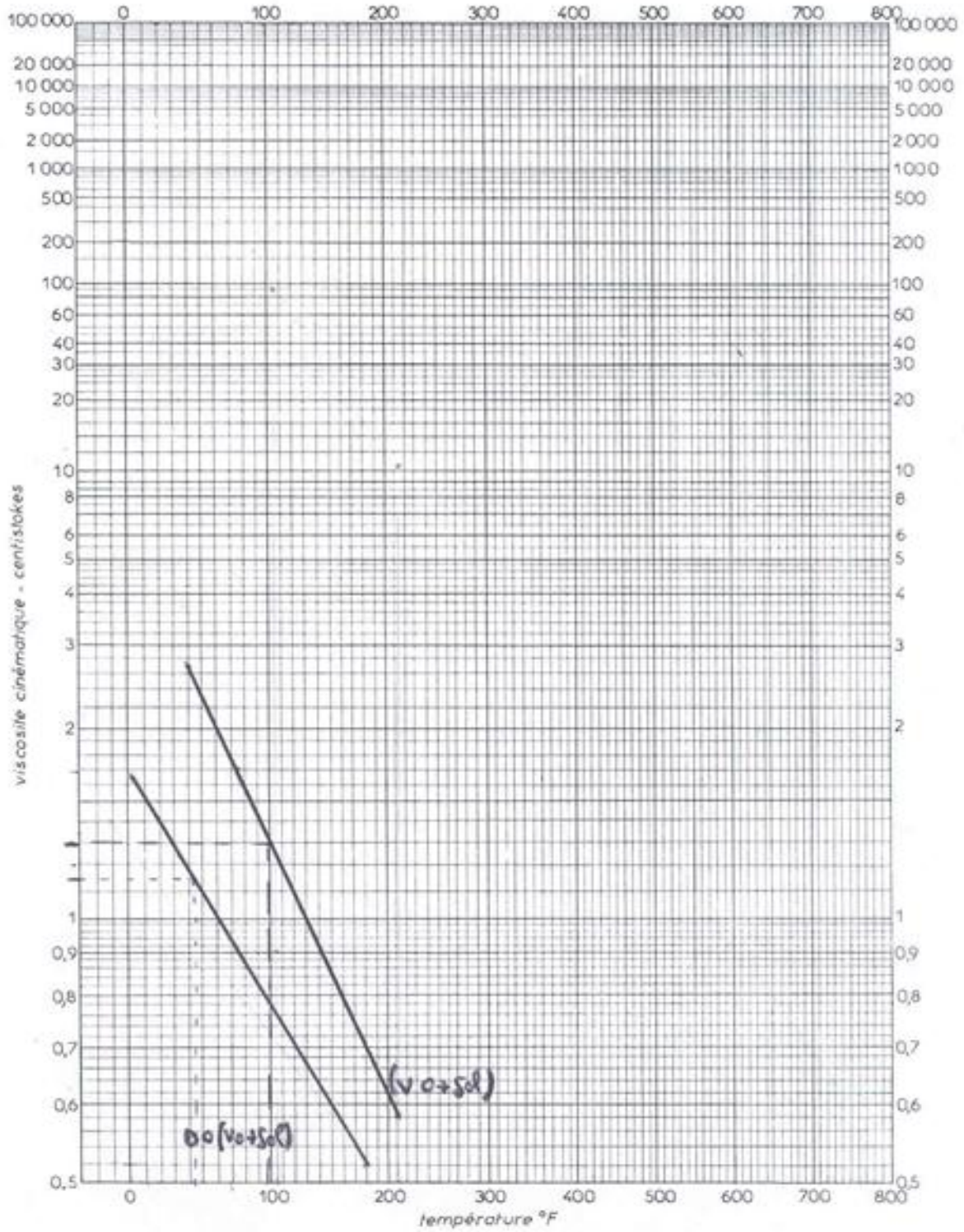
avec K coefficient dépendant de la d_4^{15} du produit pétrolier.

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

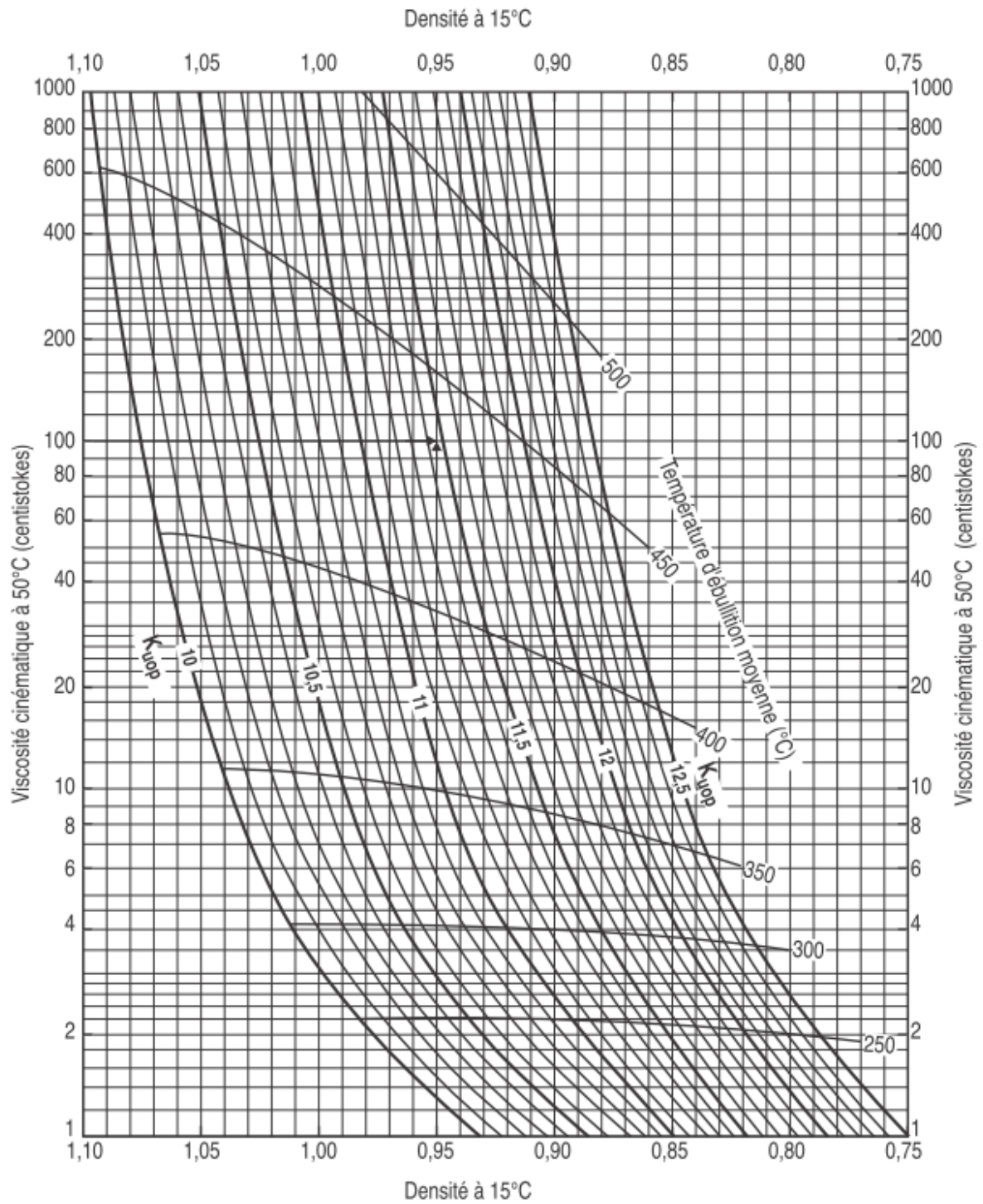
Annexe 2: Détermination de la chaleur massique des liquides.



Annexe 3: La viscosité cinématique en fonction des températures



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



Annexe 5: Détermination de résistance de salissement en $10^4 \text{Rs h.m}^2.\text{°C /kcal}$

PRODUITS PÉTROLIERS			
DISTILLATIONS ATMOSPHÉRIQUES ET SOUS VIDE		TRAITEMENT DES HUILES	
Essences et kérosène	2	Huile + solvant	4
Gasol léger	4	Raffinat	2
Gasol lourd	6	Extrait	5
Résidu atmosphérique	6-8	Solvants (furfurol, 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 6: Suivi des paramètres opératoires de section refroidissement pour grade SAE30

Date	11/02	01/03	07/03	08/03	09/03	13/03	14/03	15/03	16/03	17/03	18/05
1ere dilution	33	34	37	36	37	37	37	37	36	35	36
Filtrat	110	113	117	118	118	115	113	116	119	115	110
T° entrée E403A	46	44	46	44	44	45	46	44	46	45	52
T° sortie E403A	22	21	23	22	27	27	21	19	23	25	36
T° sortie E403B	9	8	13	7	9	10	10	7	10	8	12
T° sortie E404A	2	4	5	2	4	3	4	3	4	2	5
T° sortie E404B	-19	-19	-17	-19	-21	-18	-18	-18	-18	-17	-19
T° entrée E403B(Filtrat)	-16	-15	-14	-16	-17	-15	-15	-15	-15	-14	-16
T° sortie E403B (Filtrat)	4	4	2	3	4	4	3	3	2	4	3
T° sortie E403A(Filtrat)	10	8	9	8	7	8	10	7	8	7	7
T° entrée E403C	46	44	46	44	44	45	46	44	46	45	52
T° sortie E403C	8	10	12	9	10	12	12	11	11	14	16
T° sortie E403D	-1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	4
T° sortie E404C	-7	-5	-6	-7	-5	-6	-6	-7	-7	-7	-7
T° sortie E404D	-19	-19	-17	-19	-21	-18	-18	-17	-18	-17	-19
T° entrée E403D(Filtrat)	-16	-15	-14	-16	-17	-15	-15	-15	-15	-14	-16

T° sortie E403D (Filtrat)	-5	-5	-6	-7	-6	-6	-7	-6	-6	-5	-5
T° sortie E403C (Filtrat)	14	15	14	15	15	17	17	15	15	18	19
Point d'écoulement	-9	-9	-6	-9	-12	-9	-9	-9	-9	-6	-9

Annexe 7: Les essais pour diminué la température de filtration jusqu'à $T_f = -24$ °c

Date	26/01/17	20/02/17	20/02/17
Grade	SAE30		SAE10
Taux de charge	87	86	86
Débit de charge m ³ /h	15,5	15,2	21
1ere dilution m ³ /h	36	30,4	23
Entré 1ere E403A m ³ /h	21	20,6	19
Entré 2eme E403C m ³ /h	30,5	25	25
T° entrée E403A	35	35	37
T° sortie E403A	10	16	17
T° sortie E403B	3	6	4
T° sortie E404A	-1	4	1
T° sortie E404B	-24	-24	-24
T° entrée E403B (Filtrat)	-18	-17	-18
T° sortie E403B (Filtrat)	-8	-7	-7
T° sortie E403A (Filtrat)	1	2	1
T° entrée E403C	35	35	37
T° sortie E403C	17	13	15
T° sortie E403D	4	2	3
T° sortie E404C	-5	-6	-6
T° sortie E404D	-23	-24	-24
T° entrée E403D (Filtrat)	-18	-17	-18
T° sortie E403D (Filtrat)	-5	-7	-7

T° sortie E403C (Filtrat)	4	3	1
Rendement	86	83	
Point d'écoulement	-12	-12	-12
Mec/toluène	50,2/ 49,8	53/47	53/47

Annexe 08: Suivi des paramètres opératoires de section refroidissement

à point d'écoulement -9 °C sur grade BS

Date	25/02/16	05/06/16	26/05/16	27/05/16	28/05/16	29/05/16	Moyenne
Grade	BS						
Taux de charge	61	62	54	55	52	62	57,6
Débit de charge m ³ /h	16,1	16,4	14,2	14,5	13,7	16,3	15,2
1ere dilution m ³ /h	50,5	50	49	53	49	48	49,9
Entré 1ere E403A m ³ /h	32	25	27	28,5	27	28	27,9
Entré 2eme E403C m ³ /h	34,6	41,4	36,2	39	35,7	36,3	37,2
T° entrée E403A	48	53	44	49	55	49	50
T° sortie E403A	20	26	19	18	26	17	21
T° sortie E403B	5	6	6	6	11	6	7
T° sortie E404A	-1	2	1	2	5	3	2
T° sortie E404B	-20	-19	-19	-19	-18,5	-18,5	-19
T° entrée E403B (Filtrat)	-18	-15	-15	-15,5	-15	-15	-16
T° sortie E403A (Filtrat)	12	10	12	11	14	11	12
T° entrée E403C	48	53	44	49	55	49	50
T° sortie E403C	9	19	16	17	18	13	15
T° sortie E403D	1	5	3	4	4	2	3

T° sortie E404D	-20	-19	-18,5	-18	-18	-19	-19
T° entrée E403D (Filtrat)	-18	-15	-15	-15,5	-15	-15	-16
T° sortie E403C (Filtrat)	18	23	21	22	25	18	21
Rendement	84	86	87	90	86	90	87
Point d'écoulement	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9
Mec/toluène	47/53	47/53	47/53	47/53	47/53	47/53	47/53
Solvant de lavage	50	50	50	50	50	50	50
2eme dilution FIC07	3	5	0	9	4	4	4
2eme dilution FIC08	7	4	0	6	9	10	6

Annexe 09 : détermination de la chaleur massique de solvant (mec+ toluène).

CAPACITE CALORIFIQUE DU SOLVANT MEC/TOLUENE

