



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



**Université 20 Août 1955 - Skikda**

**Faculté de Technologie**

**Département de Pétrochimie**

# **Mémoire**

En vue de l'obtention du diplôme de

# **Master**

**Filière : Industries Pétrochimiques**

**Spécialité : Raffinage et Pétrochimie**

**Vérification des performances du procédé de déparaffinage  
UNITE 24 de la zone 7 RA1/Z :**

**Analyse des causes de fluctuation du point d'écoulement et  
étude économique du coût de réparation**

Réalisé par : **CHEBIRI Imed Eddine**

Encadré par : **Dr. BOUSSOUF Ibtissam**

## **REMERCIEMENT**

Je tiens, en premier lieu, à remercier Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience durant toutes ces années d'étude.

J'ai l'honneur et le plaisir de présenter ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à mon encadrante Dr. BOUSSOUF Ibtissam pour sa précieuse aide, ses orientations et sa confiance et sa gentillesse.

Je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidé à réaliser mon stage dans la raffinerie d'Arzew et précisément le personnel de l'unité de la production des lubrifiants et des huiles de base.

Mes respects aux membres de jury, qui nous feront l'honneur d'accepter de juger ce modeste travail, d'apporter leurs réflexions et leurs critiques scientifiques.

Je tiens à exprimer mes profonds remerciements à tous les enseignants du département de Pétrochimie de Université 20 Août 1955 – Skikda.

Ce travail n'aurait jamais pu se réaliser sans le soutien continu de mes parents qui ont eu confiance en moi et qui m'ont aidé à surmonter certains moments difficiles, merci mille fois ma très chère famille.

## DEDICACES

Je tiens à dédier cet humble travail à :

A ma tendre mère et mon très cher père

A mes frères : Ilyes, Chemsou, Racim, Rimèsh, Baker

A mon encadrante Dr. BOUSSOUF Ibtissam

A mes meilleurs amis : Kasha, Dodo, Boui, Said, Zax, hess et  
mon groupe de chambre 5

Tous ceux qui m'aiment et que j'aime....

## Résumé

Ce travail porte sur l'évaluation des performances des équipements de l'unité 24 de déparaffinage au solvant au niveau de la raffinerie d'Arzew, plus précisément dans la section de filtration. Cette unité fait partie d'un complexe comprenant plusieurs unités de traitement, chacune étant spécifiée par son procédé de traitement du pétrole brut ou de ses dérivés. L'objectif principal de ce travail était d'analyser l'influence des paramètres opératoires tels que le taux de MEC, la température de refroidissement et la teneur en eau dans le solvant, sur le point d'écoulement, et la qualité de la charge et l'économie de la production. Les résultats obtenus ont révélé que la dégradation de la toile filtrante constitue le facteur principal entraînant des fluctuations au niveau des points d'écoulement.

**Mot clés :** Déparaffinage ; MEC ; filtration ; point d'écoulement ; toile filtrante.

## Abstract

This work relates to the evaluation of the performances of the equipment of unit 24 of solvent dewaxing at the level of the refinery of Arzew, more precisely in the filtration section. The objective of this study is to evaluate the performance of the solvent-based dewaxing unit 24 in the filtration section and assess the influence of operational parameters such as MEC rate, cooling temperature, and water content in the solvent on the pour point. This evaluation also examines the impact on the feedstock quality and production efficiency. Based on the obtained results, it can be concluded that the degradation of the filter cloth is the primary factor causing fluctuations in the pour points.

**Keywords:** Dewaxing; MEC; filtration ; flow point ; filter cloth.

## ملخص

تمحورت هذه الدراسة حول تقييم أداء معدات وحدة إزالة الشمع بالمذيب، وتحديدًا في قسم الترشيفي مصفاة أرزيو. تعتبر هذه الوحدة جزءًا من مجمع يضم العديد من وحدات المعالجة، حيث يتم تحديد كل وحدة بواسطة عملياتها لمعالجة النفط الخام أو مشتقاته. الهدف الرئيسي لهذا العمل كان تحليل تأثير العوامل التجريبية المختلفة مثل معدل الهواء، ودرجة التبريد، ونسبة الماء في المذيب على نقطة التدفق، وجودة الحمولة، واقتصادية الإنتاج. أظهرت النتائج المحصل عليها أن تدهور القماش المرشح يشكل العامل الرئيسي الذي يؤدي إلى تقلبات على مستوى نقاط التدفق.

**كلمات مفتاحية:** إزالة الشمع؛ الهواء؛ الترشيف؛ نقطة التدفق؛ مرشح قماش.

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Propriétés caractéristiques des familles chimiques d'hydrocarbures des bases lubrifiants. ....	14
<b>Tableau 2 :</b> Comparaison entre les paraffines à chaîne droite et chaînes ramifiées. ....	16
<b>Tableau 3:</b> Comparaison entre les naphthènes cycliques avec des paraffines à chaînes longues latérales et les naphthènes cycliques avec des ramifications paraffinées latérales courtes. ....	16
<b>Tableau 4:</b> Caractéristiques physico-chimiques des solvants utilisés. ....	34
<b>Tableau 5:</b> Evolution du point d'écoulement de l'huile - suivi de 15 jours. ....	48
<b>Tableau 6 :</b> Evolution de la température par rapport au PP de l'huile - suivi de 15 jours. ....	51
<b>Tableau 7:</b> Evolution de la température par rapport au PP de l'huile - suivi de 15 jours. ....	53
<b>Tableau 8 :</b> Evolution du teneur en MEK par rapport au teneur en eau dans le solvant sec : Suivi de 15 jours. ....	54
<b>Tableau 9 :</b> Evolution du rendement par rapport au PP de l'huile - suivi de 15 jours. ....	56
<b>Tableau 10 :</b> Tableau 10 : Les anomalies des six filtres de .....	58
<b>Tableau 11 :</b> Caractéristiques de la toile filtrante. ....	60
<b>Tableau 12:</b> Le salaire des agents GC et GM .....	60
<b>Tableau 13 :</b> Coût des pièces utilisées pour la réparation. ....	61
<b>Tableau 14 :</b> Prix de différents grades d'huile de base .....	61
<b>Tableau 15 :</b> Tableau prix de filtre et deux pompes. ....	62

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Situation géographique de la raffinerie d'Arzew .....	4
<b>Figure 2:</b> Capacité de production de la raffinerie d'Arzew .....	5
<b>Figure 3:</b> Plan de la raffinerie d'Arzew.....	10
<b>Figure 4:</b> Composition d'un lubrifiant fini. ....	13
<b>Figure 5:</b> Schéma simplifié de la fabrication des huiles de base.....	19
<b>Figure 6:</b> Schéma simplifié de distillation sous vide.....	21
<b>Figure 7:</b> Désasphaltage des distillats au propane.....	22
<b>Figure 8:</b> Extraction au furfural.....	24
<b>Figure 9:</b> Déparaffinage des distillats au MEC/Toluène. ....	25
<b>Figure 10:</b> Hydrofinishing des huiles. ....	26
<b>Figure 11:</b> Section de réfrigération.....	36
<b>Figure 12:</b> Section Filtration. ....	39
<b>Figure 13:</b> Section Récupération D.0. ....	42
<b>Figure 14:</b> Schéma filtre rotatif a toit. ....	43
<b>Figure 15:</b> La variation de point d'écoulement au cours de 15 jours.....	49
<b>Figure 16 :</b> Effet de température de refroidissement sur le point d'écoulement. ....	52
<b>Figure 17:</b> La variation de taux de MEK et le PP. ....	53
<b>Figure 18 :</b> Teneur en eau et en MEK dans le solvant sec.....	55
<b>Figure 19 :</b> L'évolution du rendement de procédé de déparaffinage et de PP . ....	56
<b>Figure 20 :</b> Les différentes toiles filtrantes utilisées dans les filtres de l'unité 400, (a) toile ancienne et (b) toile actuelle. ....	59

## Liste des abréviations

<i>Symbole</i>	<i>Désignation</i>
<i>BRI</i>	Brut Réduit Importé
<i>MEK</i>	Méthyle-Ethyle-Cétone
<i>GPL</i>	Gas Pétrolier liquéfier
<i>API</i>	American Petroleum Institute
<i>PPI</i>	Parallèle Plate Interceptor
<i>PPM</i>	Partie par million
<i>GIR</i>	Groupe d'intervention de réserve
<i>BRA</i>	Brut Réduit Atmosphérique
<i>JGC</i>	Japan Gazoline Company
<i>PP</i>	Pour Point (point d'écoulement)
<i>ATM</i>	atmosphérique
<i>SPO</i>	SpindleOil
<i>MVO</i>	Medium Viscous Oil (huile visqueuse moyenne)
<i>VO</i>	Viscose Oil( huile visqueux)
<i>RSV</i>	Résidu Sous Vide
<i>BS</i>	Bright Stock
<i>DAO</i>	De-AsphaltedOil (huile dé-asphalté)
<i>RDC</i>	ResidualDipolarCoupling
<i>HP</i>	Haute Pression
<i>MP</i>	MOYEN Pression
<i>BP</i>	basse Pression
<i>Tm</i>	Temperature moyen
<i>Gm</i>	Groupe mecanique
<i>GC</i>	Groupe mecanique statistique

# **SOMMAIRE**

INTRODUCTION GENERALE .....	1
-----------------------------	---

## **CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA RAFFINERIE D'ARZEW**

I.1. Introduction : .....	3
I.2. Historique : .....	3
I.3. Situation géographique : .....	3
I.4. Objectif du complexe : .....	4
I.5. Capacité de traitement : .....	4
I.6. Présentation des installations de production : .....	5
I.6.1. Département de la production P1 : .....	5
I.6.2. Département Production P2 : .....	7
I.6.3. Département Production P3 : .....	8
I.6.4. Département de production P4 : .....	8
I.7. Conclusion : .....	10
I.8. References : .....	11

## **CHAPITRE II : LES HUILES DE BASE**

II.1. Introduction : .....	13
II.2. Lubrifiants et les huiles de base : .....	13
II.2.1. Définition d'un lubrifiant : .....	13
II.2.2. Objectifs et applications : .....	14
II.2.3. Propriétés des huiles : .....	14
II.2.4. Tendances chimiques des huiles de base : .....	15
II.3. Chaîne de fabrication des huiles : .....	18
II.3.1. Introduction : .....	18
II.3.2. Les unités de la zone 7 : .....	20
II.3.3. Compoundage des huiles finies : .....	26
II.3.4. Les d'additifs : .....	27
II.4. Conclusion : .....	28

II.5. Références :	29
--------------------	----

**CHAPITRE III : PRESENTATION DE PROCEDE DE DEPARAFFINAGE AU SOLVANT à L'UNITE 24**

III.1. Introduction :	31
III.2. L'objectif de l'unité 24 :	31
III.3. Charges et produits :	32
III.4. Rôle de solvant :	33
III.5. Caractéristiques du solvant :	34
III.6. Description du procédé :	35
<i>III.6.1. Section de réfrigération :</i>	35
III.6.2. Le cycle de détente :	35
<i>III.6.3. Section de filtration :</i>	36
<i>III.6.4. Section de récupération de solvant d'huile de paraffine :</i>	39
<i>III.6.5. Section de déshuilage :</i>	40
<i>III.6.6. Section de gaz inerte :</i>	40
<i>III.6.7. Section de récupération de solvant de la paraffine :</i>	41
III.7. Détails sur la section de filtration :	42
<i>III.7.1. Description d'un filtre rotatif :</i>	42
III.7.2. Principe de filtration :	44
III.8. Références :	46

**CHAPITRE IV : PARTIE PRATIQUE, INTERPRETATION ET DISCUSSIONS DES RESULTATS**

IV.1. Problématique :	48
IV.2. Les sources possibles de fluctuation du point d'écoulement :	49
IV.2.1. Influence du taux de MEK (Methyl Ethyl Keton) et la température de refroidissement sur le point d'écoulement :	50
IV.2.2. La teneur en eau et en MEK dans le solvant sec :	54
IV.2.3. La relation entre le point d'écoulement et le rendement du procédé de déparaffinage :....	55
IV.2.4. Influence de l'état de marche des filtres :	57
IV.3. La toile filtrant industriel dans unité 24 :	59

IV.4. L'influence de fluctuation du point d'écoulement sur le cout de la production :.....	60
IV.4.1. Le cout de réparation de la toile filtrante : .....	60
IV.4.2. Le coût des pièces utilisées pour la réparation :.....	61
IV.5. Conclusion : .....	63
IV.6. Références : .....	64
CONCLUSION GENERALE .....	65

# INTRODUCTION GENERALE

Le pétrole brut occupe une place primordiale dans le développement industriel et économique de nombreux pays, non seulement en tant que source d'énergie essentielle, mais également en raison de sa capacité à produire toute une gamme de produits commerciaux indispensables à la vie quotidienne, tels que les gaz et les asphaltes.

Cependant, le pétrole brut extrait des puits ne peut être utilisé tel quel en raison de sa composition complexe, qui comprend divers hydrocarbures. Ainsi, il est nécessaire d'appliquer différents processus de traitement et de transformation afin d'optimiser la valeur commerciale des produits. L'ensemble de ces traitements et transformations constitue ce que l'on appelle le raffinage du pétrole. En Algérie, il existe actuellement six raffineries, dont celle d'Arzew, où nous avons réalisé notre projet de fin d'études. Cette raffinerie est la seule du pays à produire des lubrifiants.

La fabrication d'huiles minérales lubrifiantes de haute qualité implique cinq procédés successifs, notamment la distillation sous vide. Ce dernier consiste à extraire du résidu atmosphérique trois distillats (SPO, SAE10, SAE30), un gas-oil lourd et un résidu sous vide.

L'unité 24 est chargée du déparaffinage de l'huile et de la production de paraffine dure. Les distillats traités (SPO, SAE10, SAE30, BS) proviennent de l'unité 23. L'objectif de cette unité est de produire de l'huile de base à bas point d'écoulement, ainsi qu'une gamme de paraffine à point de fusion élevé et faible teneur en huile.

Dans le cadre de notre projet de fin d'études, nous avons été chargés d'étudier les paramètres qui influent sur le point d'écoulement de l'huile dans le procédé de déparaffinage.

L'objectif de ce projet est de vérifier le point d'écoulement du procédé de déparaffinage au solvant et détecter les causes de sa fluctuation notamment la dégradation de la toile filtrante. Nous présentons une étude systématique qui nous aidera à traiter efficacement la charge (huile + paraffine) tout au long de la chaîne de fabrication dans l'unité de déparaffinage.

Ce projet comprend une partie théorique, dans laquelle nous décrivons brièvement le complexe, la chaîne de fabrication des huiles et le procédé de déparaffinage au solvant. Il comporte également une partie pratique, où nous détaillons une étude approfondie de la performance du procédé de déparaffinage au solvant à partir des analyses effectuées en laboratoire, de la performance des équipements de l'unité et de l'influence des différents paramètres opératoires sur la qualité de la charge et sur l'économie de la production.

# **CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA RAFFINERIE D'ARZEW**

### **I.1. Introduction :**

L'économie algérienne est dominée par les industries générées par le gaz de Hassi Rmel et le pétrole de Hassi Messaoud. Au nord-est d'Oran, le centre industriel d'Arzew, permet la liquéfaction du gaz et le raffinage du pétrole [1]. La raffinerie reçoit du pétrole brut du site de production de Hassi Messaoud (situé à 900 km au sud d'Alger). La raffinerie représente l'une des plus grandes zones industrielles pétrolières d'Afrique [2]. Dans ce chapitre nous allons présenter la raffinerie d'Arzew, sa situation géographique, ses objectifs, sa capacité de traitement ainsi que ses différentes installations de production.

### **I.2. Historique :**

La raffinerie d'Arzew a été réalisée dans le cadre du premier plan quadriennal entre 1970 et 1973. C'est la troisième raffinerie du pays après celles d'Alger et de Hassi Messaoud [3].

Elle a été conçue pour traiter le pétrole brut de Hassi Messaoud et le brut réduit importé pour la production des bitumes, et cela pour satisfaire des besoins de consommation en carburants, lubrifiants et bitumes du marché national et exporter les produits excédentaires (naphta, kérosène, gasoil) [3].

La construction du complexe a été confiée à la société japonaise Japan Gazoline Company (JGC Corporation). C'est l'entreprise Naftec, issue de la restructuration de la Sonatrach qui gère la raffinerie d'Arzew. La pose de la première pierre a eu lieu le 19 juin 1970, le démarrage des unités a été lancé à partir du mois de juillet 1972 pour les utilités et en mars 1973 pour l'ensemble dans autres unités [3].

Entre 1975 et 1977, extension de la raffinerie en augmentant ses capacités de production des bitumes routiers de 65 000 à 120 000 t/an, et des bitumes oxydés de 5000 à 20000 t/an afin de répondre à la demande du marché. En 1984, la réalisation d'une nouvelle chaîne de production de lubrifiants pour une capacité de production de 120 000 t/an [4].

En 2008, début des travaux de réhabilitation de la raffinerie pour augmenter la capacité de traitement du pétrole brut de 2,5 millions tonnes à 3,75 millions de tonnes par an, installation de nouvelles unités pour la fabrication d'essence sans plomb [5].

### **I.3. Situation géographique :**

La raffinerie d'Arzew est située dans la zone industrielle sur le plateau d'El Mahgoune à deux kilomètres de la ville d'Arzew et environ 40 kilomètres de la ville d'Oran [3].

Elle occupe 170 hectares et se situe au voisinage du port d'Arzew, lui permettant les enlèvements par bateau [3].

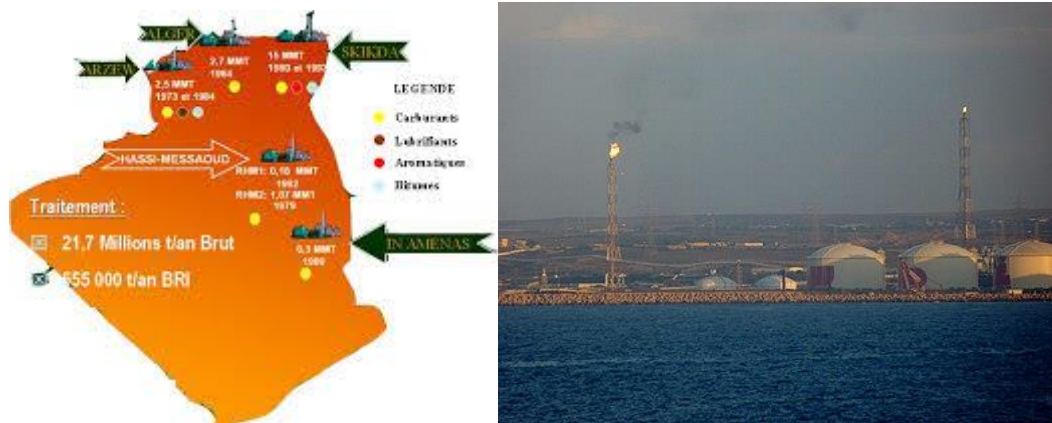


Figure 1: Situation géographique de la raffinerie d'Arzew [6].

### I.4. Objectif du complexe :

Le complexe a été conçu pour répondre aux impératifs suivants :

- Traiter le brut de Hassi Messaoud et le brut réduit importé ;
- Satisfaire la consommation croissante en carburants du marché national ;
- Fabriquer des produits stratégiques tels que les lubrifiants et les bitumes.

### I.5. Capacité de traitement :

La raffinerie d'Arzew traite en moyenne 3,75 millions de tonnes par an de pétrole brut et 279000 de tonnes de brut réduit importé (BRI) pour la production de bitumes [3].

La production de la raffinerie est très diversifiée et se compose comme suit :

#### a. Carburants :

- Butane
- Propane

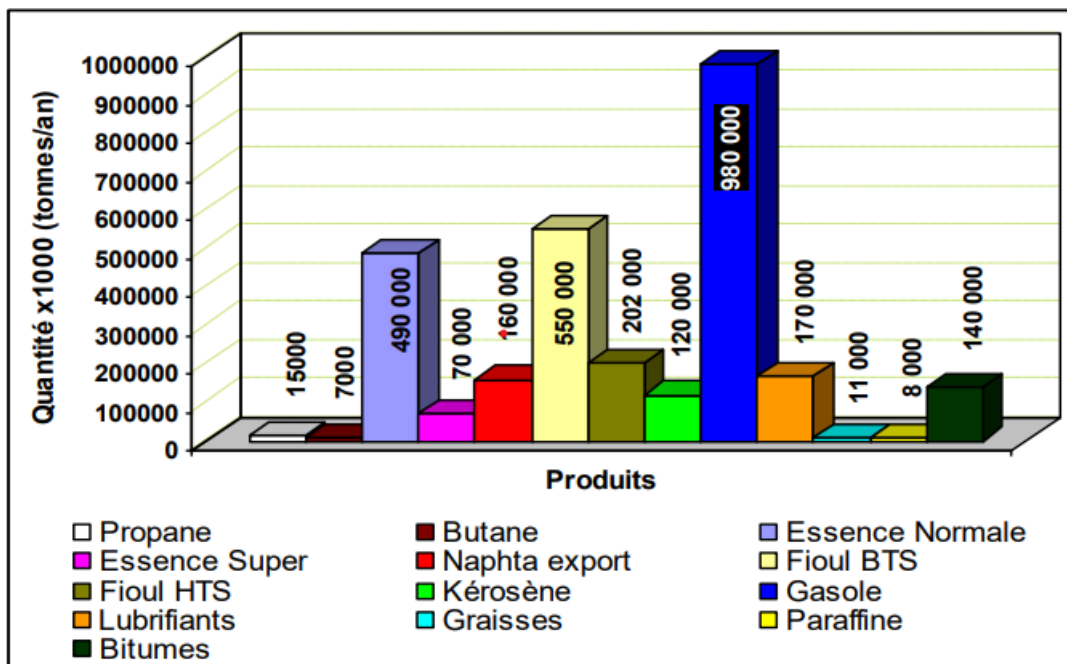
- Essence super
- Essence normale
- Kérosène

**b. Lubrifiants :**

- Huiles de base
- Huiles finis
- Paraffine

**c. Bitumes**

- Bitume routier
- Bitume oxyde



**Figure 2:** Capacité de production de la raffinerie d'Arzew .

**I.6. Présentation des installations de production :**

La raffinerie d'Arzew (RA1/Z) comprend quatre départements de production [3]:

**I.6.1. Département de la production P1 :**

Les installations constituant sont :

**a. Zone 3 – Utilités - :**

Elle comprend les unités suivantes :

- Unité 31 : Production de vapeur
- Unité 32 : Production de l'eau distillée
- Unité 33 : Circuit d'eau de refroidissement
- Unité 34 : Production d'électricité GTG (turbine à gaz)
- Unité 35 : Récupération et distribution du gaz combustible.
- Unité 36 : Unité d'air comprimé, production gaz inerte
- Unité 67 : Systèmes du Réseau d'eau anti-incendie.

**b. Zone 4 :**

Elle comprend les unités suivantes :

- Unité 11 : Unité de distillation atmosphérique « Topping »
- Unité 12 : Unité de reforming.
- Unité 13 : Séparation des gaz « Gas Plant »
- Unité 17 : Unité d'isomérisation
- Unité 18 : Huile chaude « hot oil »
- Unité 65 : Torche des gaz.

**c. Zone 7 – Lubrifiants - :**

Elle comprend les unités suivantes :

- Unité 21 : Distillation sous vide.
- Unité 22 : Désasphaltage au propane.
- Unité 23 : Extraction au furfural des aromatiques.

- Unité 24 : Déparaffinage au MEK-Toluène.
- Unité 25 : Hydrofinishing.

**d. Zone 10 : Bitumes :**

Cette zone est composée de :

- Unité 14 : Bitumes routiers.
- Unité 15 : Bitumes Oxydés.
- Unité 45 : Conditionnement et de stockage des bitumes

**I.6.2. Département Production P2 :**

En 1978, suite aux besoins importants en lubrifiants, la réalisation d'un ensemble de production de 120000 T/an d'huile de base fut lancée. Le démarrage de cet ensemble fut en 1984.

Il comprend trois Zones :

**a. Zone 19 : Utilités :**

Elle comprend les unités suivantes :

- Unité 1100 : Production de la vapeur.
- Unité 1200 : Production de l'électricité.
- Unité 1300 : Tour de refroidissement.
- Unité 1400 : Fuel gaz.
- Unité 1500 : Air comprimé.
- Unité 1600 : Production de l'eau distillée.
- Unité 1700 : La torche.
- Unité 280 : Production de gaz inerte (azote)

**b. Zone 5 : Lubrifiants :**

Elle comprend les unités suivantes :

- Unité 100 : Distillation sous vide.
- Unité 200 : Désasphaltage au propane.
- Unité 150 : HOT OIL.
- Unité 300 : Extraction des Aromatiques.
- Unité 160 : Traitement des eaux acide.
- Unité 400 : Déparaffinage au MEK-Toluène.
- Unité 500 : Hydrofinishing.
- Unité 600 : Hydrotraitement de la paraffine.

**I.6.3. Département Production P3 :**

**a. Zone 6 : Fabrication des huiles finies et graisses :**

Elle comprend les unités suivantes :

- Unité 3000 : Huiles finies.
- Unité 3100 : Blending des huiles.
- Unité 3200 : Graisses.
- Unité 3300 : Conditionnement de la paraffine.
- Unité 3600 : Remplissage des huiles en vrac.
- Unité 3900 : Conditionnement et emballage des huiles finies.

**I.6.4. Département de production P4 :**

**a. Zones 28 : Stockage, mélange et expédition.**

Il s'agit du stockage des produits finies comme les carburants, les GPL ainsi que les additifs chimiques, le brut de Hassi-Messaoud, et le mélange des essences. Une dernière

tâche, est l'expédition des produits finis au moyen des camions (propane, butane, essence, gasoil), par canalisation et par navires au niveau de l'ISP.

**b. 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.

**c. 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).

**d. 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.

**e. 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 2 services :

**f. 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).

**g. Service intervention :**

Assure l'entretien des équipements de lutte contre l'incendie (fixe et mobile), la formation du groupe d'intervention de réserve (GIR), la gestion des produits extincteurs, les travaux de maintenance (ne jours de repos et fériés, quand l'inspecteur n'est pas présent),

l'exécution du planning de sauvetage journalier et du programme d'exercices des plans d'attaques contre les incendies.

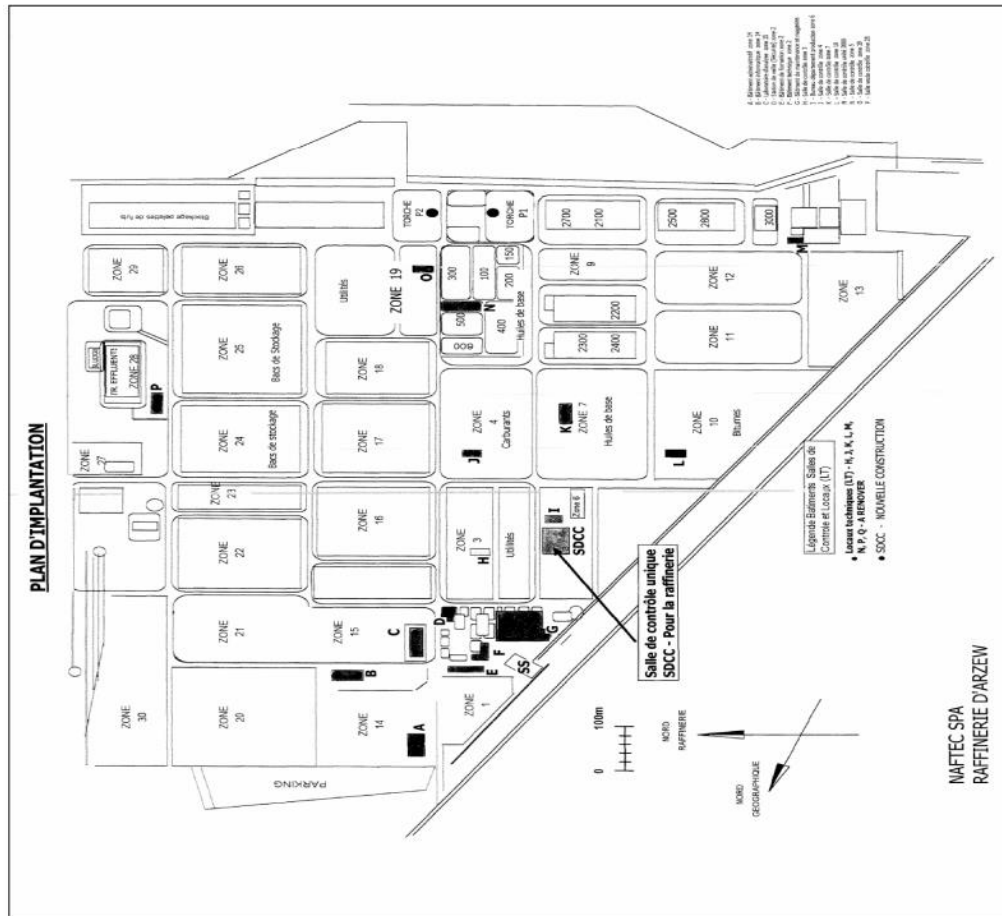


Figure 3: Plan de la raffinerie d'Arzew.

## I.7. Conclusion :

L'économie nationale de l'Algérie dépend de l'exploitation pétrolière. La raffinerie d'Arzew, considérée comme l'une des plus grandes et des plus rentables d'Afrique du Nord, la troisième du pays, possède une forte capacité de traitement du pétrole brut, les différents sous-produits issus du raffinage permettent de satisfaire les besoins en carburant, lubrifiants, asphalte de la population locale et aussi d'exporter les produits excédentaires (Naphte et Carburant).

**I.8. References :**

- [1] W. Rezig, N. A. Saouag, and M. Hadjel, "Valorization of oily sludge in arzew refinery," *Handb. Environ. Chem.*, vol. 98, pp. 149–185, 2020.
- [2] A. Benchouk and A. Chibani, "Petroleum-hydrocarbons biodegradation by *Pseudomonas* strains isolated from hydrocarbon-contaminated soil," *J. Fundam. Appl. Sci.*, vol. 9, no. 2, p. 713, May 2017.
- [3] "Fiche Technique de complex RA1/Z", Fiche technique.
- [4] "Djazairess: Raffinerie d'Arzew: entre histoire et modernisation." Site web: <https://www.djazairess.com/fr/latribune/7367> (accessed Jun. 19, 2023).
- [5] "Ouyahia insiste sur la nécessité d'augmenter la production des carburants - Algerie Eco.". Site web: <https://www.algerie-eco.com/2017/10/01/ouyahia-insiste-necessite-daugmenter-production-carburants/> (accessed Jun. 19, 2023).
- [6] "Naftec: Carte d'identité | raffinage." Site web: <https://hydrocarburescommunicat.wordpress.com/naftec-carte-didentite/#:~:text=Sp%C3%A9cialis%C3%A9e%20dans%20le%20raffinage%20du,%2C%20lubrifiants%2C%20paraffines%20et%20bitumes> (accessed Jun. 19, 2023).

## **CHAPITRE II : LES HUILES DE BASE**

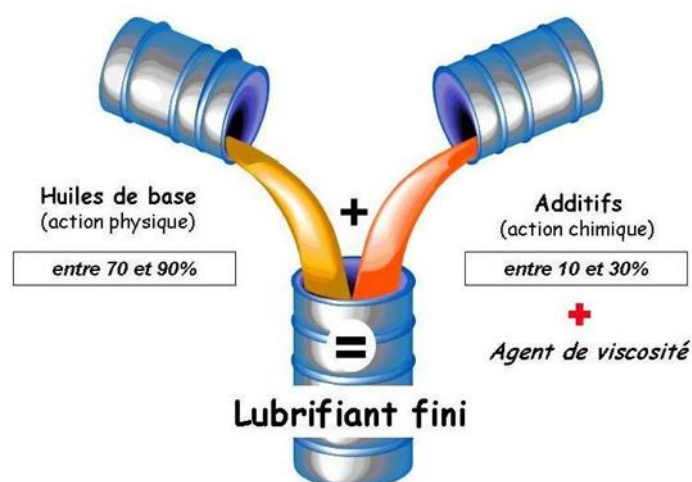
## II.1. Introduction :

Le développement technologique des machines a conduit à une demande croissante pour des huiles lubrifiantes de haute qualité et conformes aux normes réglementaires. L'industrie pétrolière a dû investir considérablement dans la recherche et le développement de nouveaux processus de production pour satisfaire la demande en termes de quantité et de qualité. Les huiles lubrifiantes, ayant des fonctions multiples, sont devenues des produits extrêmement importants pour répondre aux besoins des différents secteurs, notamment les transports, l'agriculture, les travaux publics, et d'autres. Cette adaptation constante aux évolutions technologiques est essentielle pour assurer un fonctionnement optimal des machines et garantir leur durabilité.

## II.2. Lubrifiants et les huiles de base :

### II.2.1. Définition d'un lubrifiant :

Un lubrifiant est une matière onctueuse, d'une couleur claire, soit liquide, semi plastique ou solide, elle est fabriquée à partir d'un mélange d'huiles de base (70%, 90%) et d'additifs (10%, 30%) qui confère aux produits finis des propriétés physico-chimiques selon le domaine d'application [1].



**Figure 4:** Composition d'un lubrifiant fini.

**II.2.2. Objectifs et applications :**


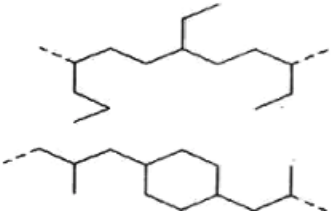
La lubrification est une composante incontournable de la maintenance industrielle. En réduisant les frottements entre deux pièces, elle ralentit l'usure des équipements. La lubrification répond à plusieurs besoins des équipes de maintenance industrielle [2]:

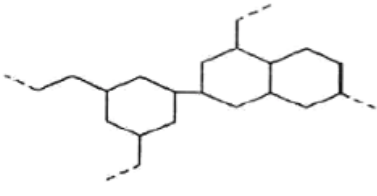
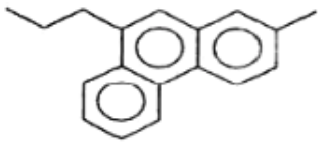
- Réduction de la friction (frottement ou déformation)
- Réduction de l'usure des pièces
- Absorption / atténuation des chocs
- Réduction / contrôle de la température
- Protection contre la corrosion
- Isolation des composantes de la contamination
- Nettoyage / suppression des contaminants

**II.2.3. Propriétés des huiles :**

Les paraffines, les naphéniques et les aromatiques sont les hydrocarbures trouvés dans les huiles sous forme des hydrocarbures saturés linéaires « n-paraffines » ou ramifiées « iso paraffines » [3].

**Tableau 1:** Propriétés caractéristiques des familles chimiques d'hydrocarbures des bases lubrifiants [3].

Familles	Structure type	Propriétés principales	
		Favorables	Défavorables
Paraffines en chaîne droite		Indice de viscosité élevé	Point d'écoulement élevé
Paraffines ramifiées et paraffines avec peu de cycles		Indice de viscosité bon à élevé Résistance à l'oxydation bonne	

Naphténiques		Résistance à l'oxydation bonne Bas point d'écoulement	Indice de viscosité faible
Aromatique		Point d'écoulement généralement bas	Indice de viscosité bas Très mauvaise résistance à l'oxydation

#### II.2.4. Tendances chimiques des huiles de base :

Il existe trois grandes tendances chimiques des huiles de base, nous exposons comme suit [4]:

##### II.2.4.1. Tendance paraffinique :

Les chaînes ramifiées sont les plus intéressantes et doivent être disponible en quantité appréciable, par contre les chaînes droites de poids moléculaire élevé augmentent la température de congélation et doivent être éliminées par le procédé de déparaffinage.

➤ **Les huiles paraffiniques sont caractérisées par :**

- Leur faible densité pour une viscosité donnée, par exemple, plusieurs huiles à viscosité égale à 50 cst ; la plus paraffinique est celle qui à la densité la plus faible.
- En ce qui concerne la variation de la viscosité en fonction de la température, les huiles à tendance paraffinique ont une faible variation de viscosité en fonction de la température.
- La faible volatilité ; la température de distillation d'une huile paraffinique est plus élevée, cette qualité se traduit de point d'éclair très élevée.



- Les naphènes ayant quelques cycles et possédant des chaînes latérales longues sont les composés désignés pour une bonne huile.

#### **II.2.4.3. Tendance aromatique :**

Les fractions huileuses à tendance aromatique présentent les plus mauvaises qualités par rapport à les fractions paraffiniques et naphéniques.

##### ➤ **Les huiles aromatiques sont caractérisées par :**

- Densités très élevées.
- Très grande variation de la viscosité en fonction de la température.
- Ils sont plus agressifs que les naphènes et les paraffines.
- Ils sont chimiquement actifs.
- Ils sont facilement oxydables et provoquent la formation des produits asphaltés et résineux.

#### **II.2.5. Les caractéristiques des huiles :**

- **Couleur :** La couleur peut indiquer le degré de raffinage de l'huile.
- **Point d'écoulement :** C'est la température minimale à laquelle l'huile peut encore couler.
- **Point d'éclair :** C'est la température à laquelle les vapeurs d'huile peuvent s'enflammer en présence d'une flamme.
- **Stabilité :** L'huile doit conserver ses propriétés initiales sur une longue période.
- **Résistance à l'oxydation :** L'huile ne doit pas se dégrader lorsqu'elle est exposée à l'air à des températures élevées, afin d'éviter la formation de substances corrosives.
- **Point trouble :** C'est la température à laquelle les paraffines peuvent commencer à se solidifier ou à se séparer de la solution.
- **Viscosité :** La viscosité permet la formation d'un film d'huile qui réduit le frottement entre les pièces en mouvement.
- **Indice de viscosité :** Il mesure la variation de la viscosité en fonction de la température. Un indice élevé indique une variation de viscosité plus faible avec la température.

Ces caractéristiques sont importantes pour garantir la performance, la durabilité et la sécurité des lubrifiants dans diverses applications.

### **II.3. Chaîne de fabrication des huiles :**

#### **II.3.1. Introduction :**

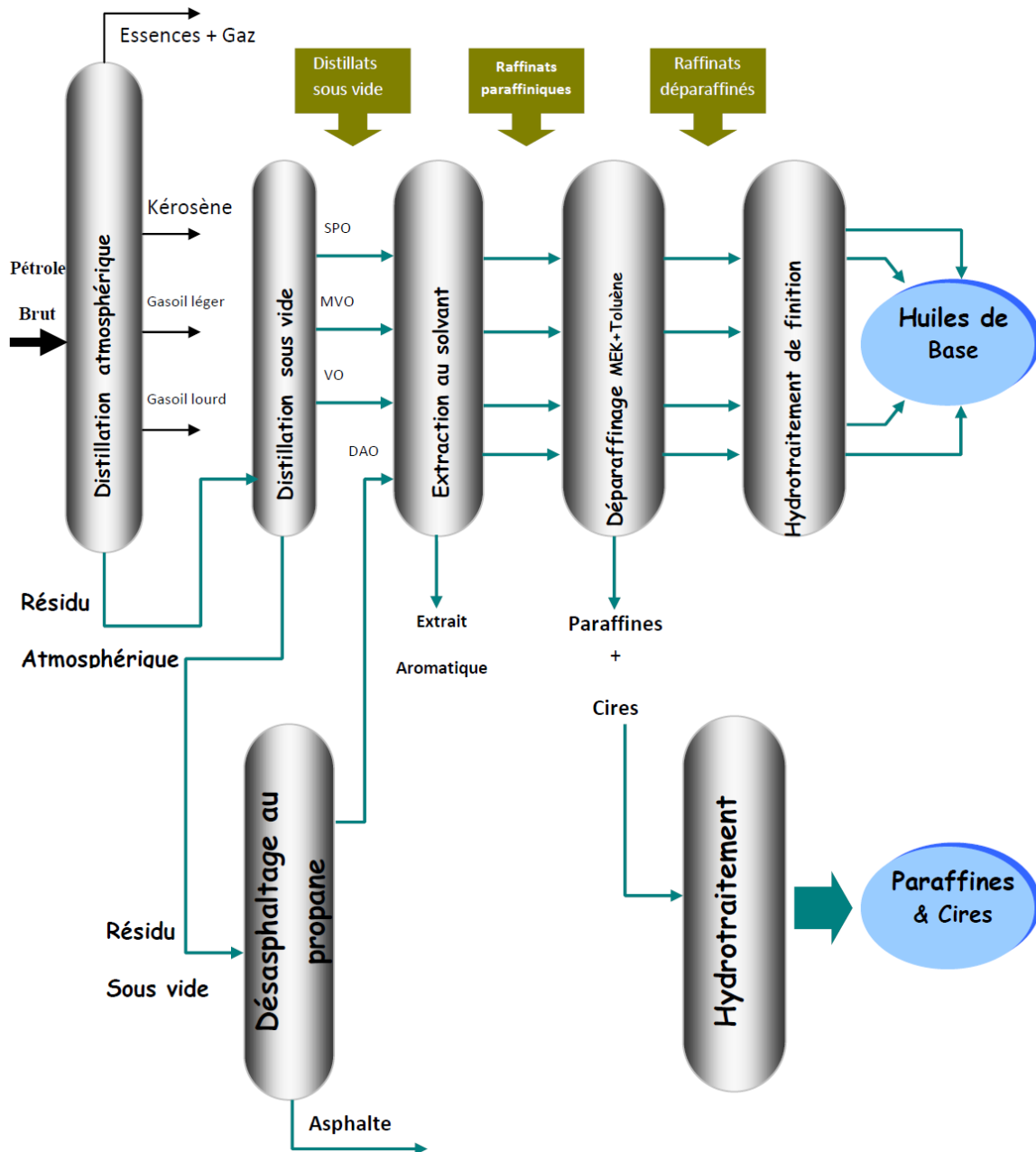
Elles sont fabriquées à partir du pétrole brut réduit atmosphérique après divers traitements complexes de raffinage. Elles sont très utilisées, aussi bien dans les applications automobiles qu'industrielles [5].

La chaîne de fabrication de ces huiles de base est une chaîne classique. La production se déroule à la zone 7 ; elle est alimentée par le brut réduit atmosphérique (BRA) issu de fond de colonne de distillation atmosphérique de la zone 4, la zone 7 dispose de Cinq unités sont les suivantes [5] :

- Distillation sous vide (U1).
- Des asphaltages au propane (U2).
- Extraction au furfural (U3).
- Déparaffinage au MEC/TOLUENE (U4).
- Hydrofinishing (U5).

Tous ces procédés sont des procédés de séparation (distillation, extraction, filtration) sauf pour l'unité 5 où on a un procédé de transformation.

Le schéma ci-après décrit la chaîne classique du raffinage des huiles de base et explique l'objectif recherché à travers le procédé de chaque unité :



**Figure 5:** Schéma simplifié de la fabrication des huiles de base.

Les unités de fabrication des huiles de base à trois unités qui fonctionnent avec des solvants sélectifs, le solvant est choisi en tenant compte des critères suivants :

**a) Sélectivité**

Le solvant doit dissoudre de préférence le soluté souhaité et non d'autre soluté éventuellement présent.

**b) Pouvoir solvant**

Le pouvoir solvant s'exprime par la quantité de soluté qui peut se dissoudre dans une unité de volume ou de poids de solvant.

**c) Densité**

Pour que la décantation entre phases, diluant et solvant, s'opère facilement, il faut que la différence de leurs densités ne soit pas trop faible.

**d) Stabilité**

Le solvant doit résister à toute dissociation ou dégradation due à une augmentation de la température ou à une diminution de l'ordre de « PPM » la phase d'alimentation.

**e) Régénération**

La régénération se fait le plus souvent par distillation rarement par une deuxième extraction ou par cristallisation ; donc la tension de vapeur du soluté doit être bien différente de celle du solvant.

**f) Récupération facile**

La tension de vapeur largement différente de celle de l'extrait et du raffinat est suffisamment faible pour ne pas surcharger l'appareillage.

**g) Sécurité**

Pour des raisons de sécurité, le solvant devra être :

- Non inflammable
- Le moins possible toxique et non corrosif
- Une basse volatilité

**II.3.2. Les unités de la zone 7 :**

La zone 7 comporte les unités suivantes [6] :

**II.3.2.1. Distillation sous vide (unité 21) :**

- Elle a pour but de fractionner le BRA obtenue de la distillation atmosphérique du pétrole brute sous une pression inférieure à 1 ATM (sous vide partiel).
- L'objectif de cette distillation est d'obtenir à différents plateaux de la colonne sous-vide des huiles lubrifiantes de base (distillats sous vide) à viscosités variables.

- L'opération sous vide permet d'abaisser les températures de distillation et d'éviter ainsi la dégradation thermique des hydrocarbures à haute température d'ébullition.
- Elle permet de ne pas dépasser 400 à 430 °C qui est, dans ce type d'unité, l'ordre de grandeur de la température limite de stabilité des hydrocarbures.
- Le vide est assuré par un dispositif d'aspiration des gaz résiduels en tête de colonne. Le gasole et les distillats sous vide « spindle ou huile légère (SPO), huile mi-visqueuse (MVO) et huile visqueuse (VO) », sont soutirés latéralement et le RSV (goudron > 500°C) est obtenu en fond de colonne qui sera la matière première du procédé de désasphaltage qui nous donnera par la suite une huile plus lourde (plus visqueuse) appelée : la BRIGHT-STOCK (BS).

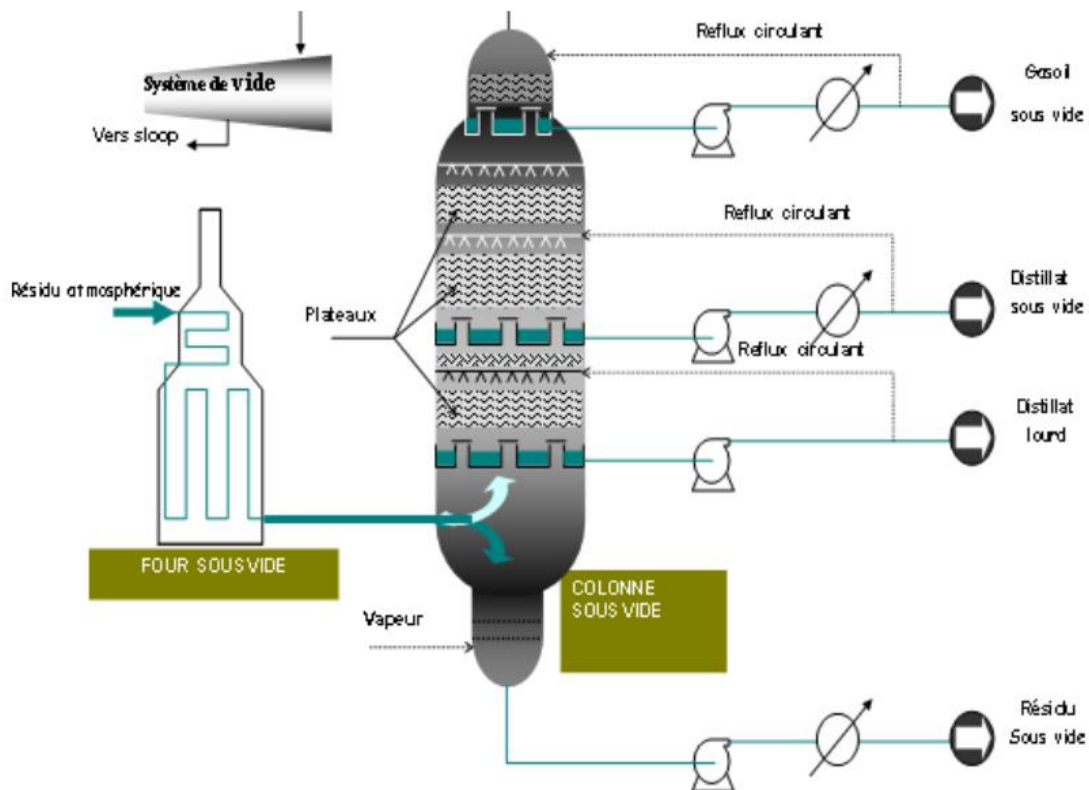


Figure 6: Schéma simplifié de distillation sous vide.

### II.3.2.2. Désasphaltage au propane (Unité22) :

- Le procédé de désasphaltage est appliqué pour la production des huiles lubrifiantes résiduelles ayant des viscosités élevées appelées la DAO d'une part et les asphaltes utilisés pour la fabrication des bitumes.

- Le but de ce procédé est d'obtenir une huile lourde désasphaltée (DAO) à partir du résidu sous vide ou on élimine des produits asphaltiques et résineux qui nuisent à la stabilité thermique de l'huile et donnent une mauvaise couleur.
- Le désasphaltage est un procédé d'extraction réalisé par raffinage au solvant sélectif qui est le propane. Cette opération se déroule dans une colonne d'extraction à disques rotatifs (RDC) qui fonctionne à un contre-courant d'un flux de résidu sous vide et d'un flux de propane.
- Lorsqu'une huile est mélangée avec du propane liquide, il se produit une séparation de l'huile en fonction des poids moléculaires, la phase huileuse appelée souvent DAO soluble dans le propane est séparée des produits de haut poids moléculaires appelés asphaltes qui se décante au fond de la colonne.

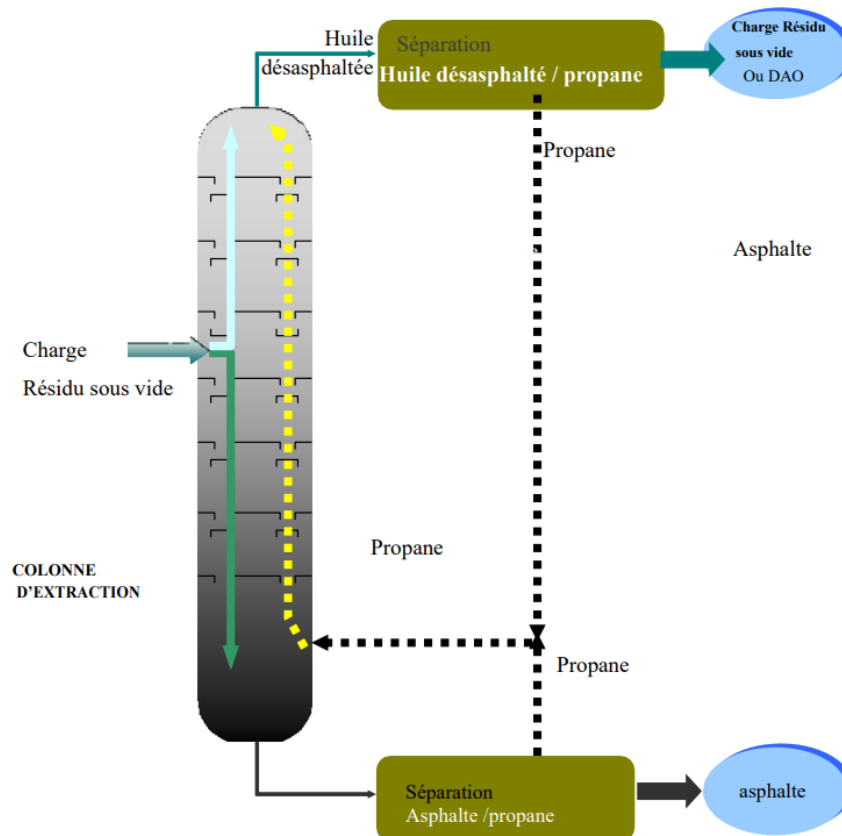


Figure 7: Désasphaltage des distillats au propane.

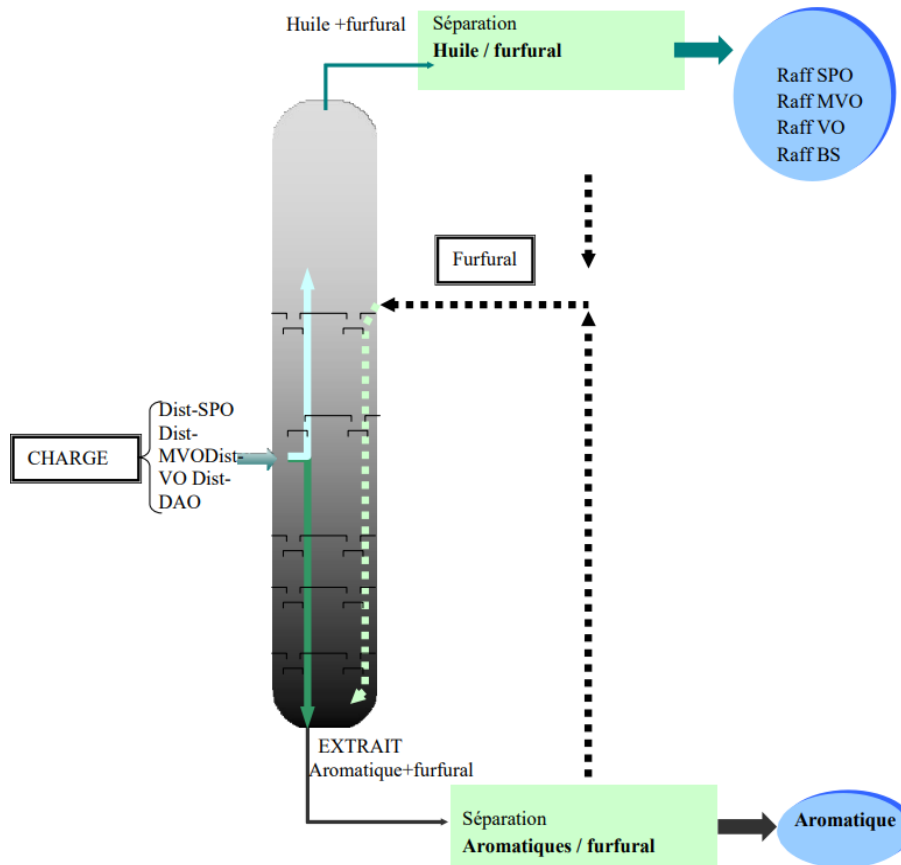
**II.3.2.3. Extraction au furfural (Unité23) :**

- Ce procédé permet de diminuer l'indice de Conradson (est l'indication de formation de coke) et la teneur en soufre et d'éliminer les aromatiques et les naphthènes afin d'améliorer l'indice de viscosité (V.I) Les trois distillats ainsi que la DAO passent alternativement dans un RDC.
- Cette opération se fait par l'emploi d'un solvant sélectif qui est le furfural. Le furfural a été choisi comme solvant dans cette unité d'extraction vu ses avantages et sa grande utilisation à travers le monde.
- Ce solvant utilisé doit présenter une solubilité préférentielle en faveur d'abord des aromatiques puis des naphthéniques qui constituent ce qu'on appelle l'extrait.
- Le furfural est un liquide incolore avec une odeur agréable rappelant la boulangerie, mais il est très toxique. Il s'agit d'un aldéhyde hétérocyclique :  $M=96,03 \text{ g mol}^{-1}$ ,  $d_4^{20} = 1,1594$ ,  $T^{\circ}_{\text{ébul}} = 161,7^{\circ}\text{C}$ .
- Le furfural est un liquide incolore avec une odeur agréable rappelant la boulangerie, mais il est très toxique.

On obtient dans la colonne d'extraction (RDC) deux phases dont la première est le raffinat riche en composants paraffiniques.

- Raffinate SPO (spindle oil)
- Raffinate MVO (mi-visqueux oil)
- Raffinate VO (visqueux oil)
- Raffinate BS (bright stock)

Et la deuxième est un extrait riche en aromatiques qui est envoyé vers fioul après la récupération du furfural.



**Figure 8:** Extraction au furfural.

#### II.3.2.4 Déparaffinage au MEC/Toluène (Unité24) :

- Après extraction au furfural, les huiles (raffinat) subissent un nouveau traitement consistant à enlever les paraffines qui se cristallisent à basse température.
- Le procédé de déparaffinage est utilisé pour diminuer la température de congélation des huiles et même des carburants.
- Aux températures basses en plus les hydrocarbures paraffiniques, les hydrocarbures naphthéniques, naphthéno-aromatiques avec des chaînes paraffiniques longues ramifiées faiblement ramifiées se cristallisent et se solidifient dans l'huiles.
- Ce comportement leur donne un caractère indésirable dans les huiles commercial surtout en hiver et dans les pays froids.
- Le solvant utilisé est le Méthyl –Ethyle-Cétone/Toluène ou MEC/Toluène qui a le pouvoir de dissoudre l'huile et de précipiter les paraffines.

- Le mélange raffinat et solvant (MEC/Toluène) après refroidissement dans des Schiller passent à travers des filtres rotatifs pour séparer l'huile de la paraffine.
- Les quatre raffinats (SPO, MVO, VO, BS) provenant de l'unité d'extraction des aromatiques au furfural (U23) se traitent alternativement, les hydrocarbures de bas point de congélation sont solubles surtout dans le solvant toluène, alors que ceux à point de congélation élevée sont précipités sous forme de cristaux solide, ces derniers sont appelés paraffines.
- Les cristaux de paraffines sont retenus dans un filtre rotatif ou il en résulte une huile pauvre en paraffines à bas point d'écoulement recherché et une paraffine riche en huile ou une fois déshuilée sera de la paraffine dure.

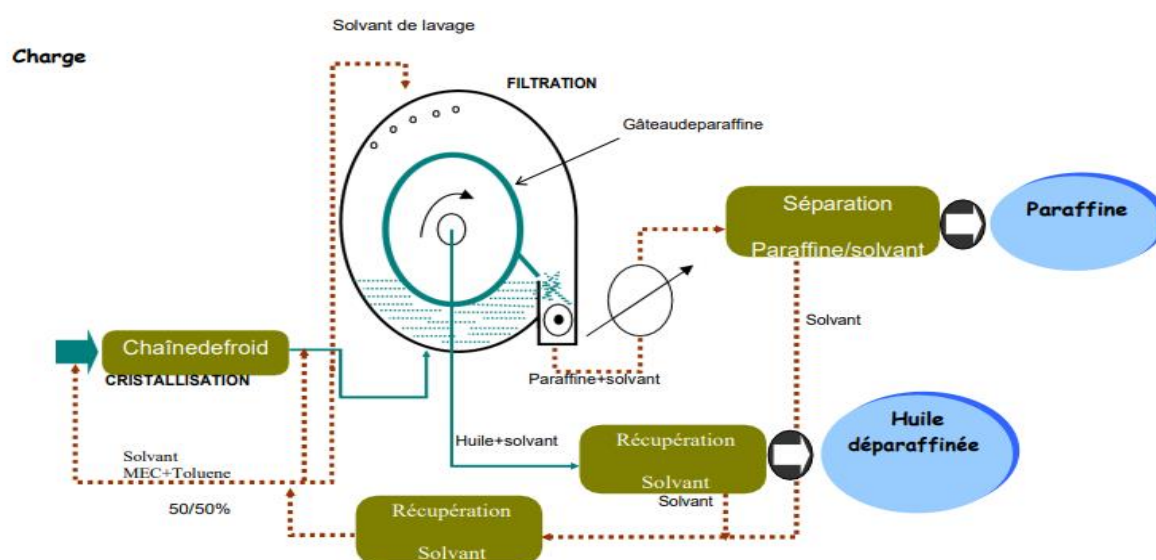
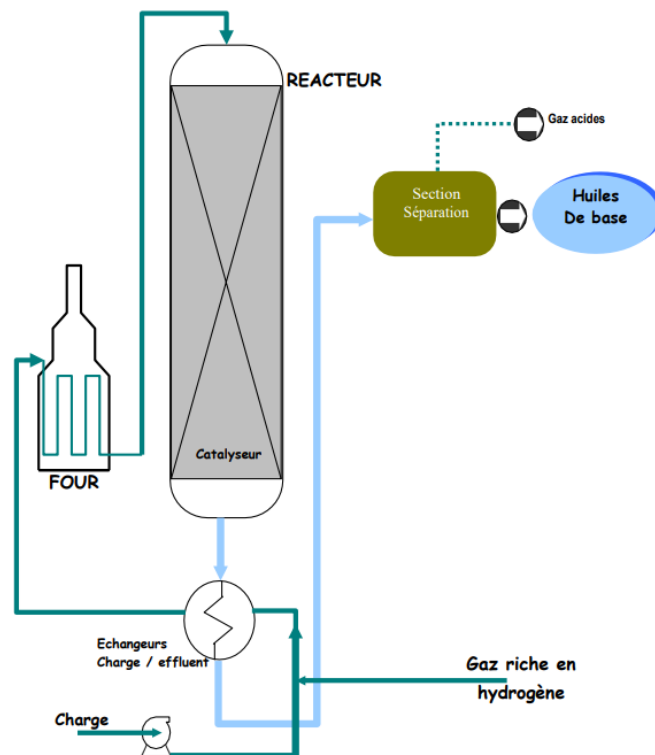


Figure 9: Déparaffinage des distillats au MEC/Toluène.

### II.3.2.5. Hydrofinishing-hydrotraitement (Unité25) :

- Les huiles ayant subi les opérations précédentes n'ont pas en général, toutes les caractéristiques convenables pour les divers emplois. Elles possèdent encore des substances jugées indésirables.
- Il s'agit d'hydrocarbures insaturés (dioléfines), non hydrocarbures (Composés azotés, oxygénés, sulfurés) ou composés instables qu'elles peuvent contenir. Pour cela, il est nécessaire de les faire subir une opération appelée Hydrofinishing ou traitement de finition.

- Le but de cette opération consiste à clarifier et à stabiliser ces huiles en éliminant les composés indésirables cités ci-dessus en vue d'obtenir des produits répondant aux exigences commerciales du marché par les caractéristiques imposées.
- C'est une hydrogénation catalytique des huiles dans un réacteur contenant un catalyseur à base de fer, cobalt et de molybdène sur support d'alumine ( $Al_2O_3$ ).
- On appelle les huiles ainsi obtenues des huiles semi-finies qui seront ensuite envoyées à la section des huiles de base ou compoundage (section de compoundage des huiles).



**Figure 10:** Hydrofinishing des huiles.

### II.3.3. Compoundage des huiles finies :

La production des huiles lubrifiantes pour les installations déjà vues ne peut pas donner toutes les qualités désirables assurant pleinement le fonctionnement normal des moteurs et des machines même par les moyens les plus modernes.

Donc La dernière étape essentielle pour obtenir les huiles finies est l'opération de compoundage qui consiste à mélanger les huiles de base traitées précédemment, dans des proportions bien déterminées additionnées de quelques produits spéciaux appelés additifs ou dopes, améliorant les qualités de service et assurant leur stabilité au stockage.

Le choix des additifs à ajouter et leur action dépendent beaucoup de l'origine des huiles, du procédé de raffinage, de la nature des hydrocarbures aromatiques, des résines et leur concentration dans les huiles.

Les additifs sont des composants chimiques vendus au marché sous leurs formulations commerciales, à base des métaux (Zn, Cu, Fe...)

#### II.3.4. Les d'additifs :

L'huile de base est le composant principal des lubrifiants. 10 à 30 % d'additifs la composent. Ces additifs pour huile permettent de résoudre les problèmes liés à la viscosité, aux particules de suie et à l'oxydation.

- **Les additifs les plus courants sont les suivants [7]:**
  - **Les additifs améliorants de viscosité :** permettre à l'huile d'être suffisamment fluide à froid (faciliter le démarrage en abaissant le point d'écoulement entre - 15 et - 45°C suivant les huiles) et visqueuse à chaud (éviter le contact des pièces en mouvement).
  - **Les additifs détergents et dispersants :** il évite la formation de dépôts ce qui permet au moteur de rester propre et de conserver ses performances, comme sulfonates, phénates, thiophosphanates et salicylates plus ou moins surbaissés.
  - **Les additifs antioxydants et désactivateurs :** il permet à l'huile de ne pas s'oxyder au cours du temps et ainsi de conserver ses propriétés, comme phénols substitués et amines aromatiques alkylées.
  - **Les inhibiteurs de corrosion :** ils forment des films protecteurs ou passivation de la surface à protéger. Esters partiels d'acides succiniques, acides gras, sulfonates et les phénates.
  - **Les anti-mousses :** il évite le moussage de l'huile pendant le fonctionnement du moteur et empêche un éventuel désamorçage de la pompe à huile, comme : polydiméthylsiloxanes, acrylates, etc. ....

A la fin de cette opération, les huiles doivent subir un certain nombre de tests afin de s'assurer que la qualité de ces huiles correspond bien aux exigences requises.

Enfin, on effectue le remplissage des huiles finies dans des tonneaux, des bidons à différents volumes pour leur commercialisation.

- **Les caractéristiques des additifs pour huile [8]:**

Pour être commercialisés, les additifs pour huile doivent présenter des propriétés spécifiques. Voici les caractéristiques fondamentales des additifs :

- Ils doivent être faciles à manipuler ;
- Ils doivent se dissoudre rapidement et totalement dans les huiles de base
- Ils doivent être insolubles dans l'eau ;
- Ils ne sont pas susceptibles de provoquer une réaction chimique avec de l'eau ou d'autres additifs.

#### **II.4. Conclusion :**

La fabrication des huiles de base pour lubrifiants comprend une série de procédés visant à améliorer des propriétés spécifiques telles que l'indice de viscosité, la résistance à l'oxydation, la stabilité thermique et la fluidité à basse température.

Ces procédés nécessitent le chauffage du produit à des températures élevées requises par le processus. Généralement, la charge est chauffée directement à l'aide de fours ou indirectement à l'aide de fluides caloporteurs.

**II.5. Références :**

- [1] J. F. T. Sergio, “Formulation et production de graisse lubrifiante à partir d’huile végétale, huile de ricin (*Ricinus communis*)”, Thèse de doctorat, Université de Antananarivo, 2019.
- [2] Frédéric Lefresne, “Lubrification et graissage dans l’industrie – Mobility Work.”, Site web: <https://mobility-work.com/fr/blog/lubrification-graissage-fonctionnement/> (accessed Jun. 19, 2023).
- [3] A. Chemrak, “Production des Huiles de Base”, Thèse de doctorat, Centre Universitaire de Tissemsilt, 2017.
- [4] D. B. Djamel, “Généralités sur les huiles de base,” Thèse de doctorat, Université d'El Oued ,2013.
- [5] J. Ayel, “Lubrifiants,” Fonctions et composants mécaniques b5330, Techniques de l’ingénieur, 1996.
- [6] “Manuel opératoire : sur les procédés de fabrication des huiles de base de la raffinerie d’Arzew”.
- [7] B. C. Mohamed, “Hydrocraquage des huiles de base”, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2019.
- [8] “Tout ce qu’il faut savoir sur l’utilité des additifs pour huile de base - Pricelub Blog.” Site web: <https://pricelub.com/blog/tout-ce-quil-faut-savoir-sur-lutilite-des-additifs-pour-huile-de-base/> (accessed Jun. 19, 2023).

**CHAPITRE III : PRESENTATION  
DEPROCEDE DE DEPARAFFINAGE AU  
SOLVANT à L'UNITE 24**

### **III.1. Introduction :**

Après l'unité d'extraction au solvant, la future huile de base, connue à ce stade de la production sous le nom de "raffinat", est débarrassée de la plupart de ses molécules aromatiques. Son indice de viscosité, également appelé IV, est ajusté à la valeur requise.

Le raffinat se compose principalement de deux types de molécules :

- Molécules paraffiniques : Ces molécules peuvent être plus ou moins longues et ramifiées.
- Molécules naphthéniques.

Les molécules paraffiniques à chaîne droite ou peu ramifiée ont tendance à cristalliser dès la température ambiante. Cependant, l'huile doit rester fluide à des températures aussi basses que -20 °C dans le carter des moteurs. Par conséquent, elle ne doit pas se solidifier en masse en se refroidissant, ce qui empêcherait son écoulement.

Il est donc essentiel d'éliminer la majorité des molécules paraffiniques ayant un point de cristallisation élevé des huiles de base.

### **III.2. L'objectif de l'unité 24 :**

L'objectif de ce processus est de réduire le point d'écoulement des huiles de base en éliminant les molécules de paraffine à point de cristallisation élevée. Le solvant utilisé est le toluène, qui a la capacité de dissoudre l'huile et de précipiter les paraffines. Les molécules de paraffine linéaires ou ramifiées ont tendance à cristalliser lorsque la température baisse, ce qui peut compromettre la fluidité de l'huile dans les moteurs à très basses températures, telles que -20°C. Il est donc essentiel d'éliminer ces molécules à point de congélation élevé [1].

L'objectif de cette unité est donc de réduire le point de trouble et le point d'écoulement en traitant les quatre raffinats contenant des molécules paraffiniques à travers l'unité d'extraction des aromatiques utilisant du furfural [1].

Le processus de séparation de l'huile de paraffine solide par refroidissement consiste à éliminer les paraffines qui se solidifient entre la température ambiante et -12°C en ajoutant un solvant composé de 50% de méthyle-éthyle-cétone (MEC) et 50% de toluène.

Voici les étapes du procédé pour éliminer les paraffines indésirables dans l'huile, qui ont un mauvais point d'écoulement [1]:

1. **Mélange** : La charge (huile) est mélangée avec une certaine quantité de solvant, composé d'un mélange de solvant et d'antisolvant.
  - Toluène : solvant ayant la propriété de dissoudre les huiles.
  - MEC (Méthyle-ETHyle-Cétone) : Antisolvant favorisant la cristallisation des paraffines.
  - Le mélange solvant/charge est réalisé en ligne, avec des proportions d'environ 50% de MEC et 50% de toluène.
2. **Refroidissement** : Le mélange charge/solvant est progressivement refroidi jusqu'à atteindre -26 °C, nécessitant ainsi une section de réfrigération utilisant du propane comme agent réfrigérant.
3. **Filtration** : Les paraffines cristallisées sont séparées de l'huile déparaffinée. Cette opération de séparation se déroule dans des filtres rotatifs sous vide, créant un vide grâce à un compresseur de gaz interne, d'où la nécessité d'une section annexe de gaz inerte.
4. **Récupération** : Le solvant est récupéré à partir de l'huile déparaffinée ainsi que des paraffines obtenues par filtration.

### **III.3. Charges et produits :**

Le raffinat utilisé comme alimentation de l'unité de déparaffinage est issu de l'unité d'extraction. Les produits obtenus suite à l'opération de déparaffinage comprennent :

- L'huile déparaffinée
- Un produit paraffineux connu sous les noms de "Gatch" ou "SlackWax".

Le Gatch peut être vendu dans son état actuel pour des applications spécifiques, telles que l'hydrofugation des panneaux de particules. Cependant, sa teneur en huile résiduelle est trop élevée pour la plupart des autres utilisations potentielles des produits paraffineux. Par conséquent, il est nécessaire de soumettre le Gatch à un traitement supplémentaire afin de réduire sa teneur en huile résiduelle à moins de 1 %.

Ce processus est appelé déshuilage et il repose sur le même principe que le déparaffinage, à savoir la cristallisation, suivie de la séparation des paraffines solides par filtration. La différence entre le déparaffinage et le déshuilage réside dans la température de cristallisation utilisée. Pour le déparaffinage, la température est généralement comprise entre -15°C et -

25°C, en fonction du point d'écoulement recherché pour l'huile. En revanche, l'opération de déshuilage s'effectue à des températures situées entre +2 °C et +5 °C.

Les produits issus du déshuilage sont :

- Les cires et paraffine.
- Un produit intermédiaire entre l'huile et la paraffine appelé « base molle ».

Les applications des cires et paraffines sont nombreuses :

- Enduction de papier carton, boîtages, récipients...etc.
- Isolation thermique.
- Fabrication des bougies.
- Imperméabilisation.
- Fabrication d'encaustique, etc.

La différence entre une cire et une paraffine est la suivante :

- Une paraffine est un solide dur, microcristallin (cristaux de petite taille), de couleur blanche, fondant selon les qualités à des températures variables supérieure à 50°C.
- Une cire est un solide malléable, microcristallin (cristaux de petite taille), de coloration blanche, à jaune foncé, fondant au-delà de 70°C

#### **III.4. Rôle de solvant :**

- **La méthyle-éthyle-cétone (MEC) :**

C'est un composé polaire qui provoque la cristallisation de la paraffine au cours du refroidissement et permet ainsi d'avoir une température de filtration voisine du point d'écoulement d'huile.

- **Le toluène :**

C'est un composé aromatique qui a un bon pouvoir solvant pour l'huile même à basse température. Il permet d'augmenter la solubilité d'huile ceci et de régler le taux de dilution au minimum.

**III.5. Caractéristiques du solvant :**

Le mélange de solvant utilisé comprend à la fois un solvant et un anti-solvant. Le toluène, en tant que solvant, présente la capacité de dissoudre les huiles à basse température. En revanche, le méthyle éthyle-cétone agit comme un anti-solvant, favorisant ainsi la cristallisation des paraffines.

Les caractéristiques physico-chimiques des solvants utilisés, à savoir le mélange MEC-Tol, sont répertoriées dans le tableau suivant :

**Tableau 4:** Caractéristiques physico-chimiques des solvants utilisés.

Solvant	Masse molaire (g/mol)	Pe(°C)	T <sub>fusion</sub> (°C)	C <sub>p</sub> (g/calC)	Teb (K)
Toluène (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )	92,13	4,4	-95	0,408	110,6
Methylethylcetone (C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O)	72,10	-9	-87	0,515	79,7

➤ Le mélange présente certains avantages qui contribuent à son efficacité de filtration :

- Il possède un point de congélation très bas et une faible viscosité.
- Il est miscible en haute proportion.
- Sa récupération est facile.

Cependant, il présente l'inconvénient d'être inflammable, ce qui nécessite l'utilisation d'un équipement fermé avec une couverture de gaz inerte.

Le solvant idéal devrait avoir la capacité de dissoudre l'huile et de précipiter l'ensemble des paraffines. De plus, en précipitant, les paraffines devraient former un réseau de cristaux pas trop dense afin de permettre la filtration de l'huile à travers ce réseau.

La première variable opératoire du procédé de déparaffinage est donc le choix du solvant utilisé.

Les caractéristiques souhaitables pour un bon solvant de déparaffinage sont les suivantes :

- **Solubilité et sélectivité** : une bonne capacité de dissolution de l'huile et une sélectivité élevée envers la cristallisation des paraffines.
- **Bas point d'ébullition** : le solvant doit pouvoir être éliminé de l'huile et des paraffines par distillation, afin de minimiser la consommation d'énergie lors de cette opération.
- **Faible chaleur de vaporisation et chaleur spécifique** : ces propriétés sont également importantes pour réduire les besoins énergétiques lors de l'élimination du solvant.
- **Bas point de congélation** : le solvant doit rester liquide aux températures de filtration.
- **Non toxique et non corrosif.**
- **Coût abordable et disponibilité suffisante.**

### **III.6. Description du procédé :**

Les installations de l'unité de déparaffinage se composent des sections suivantes [2] :

#### ***III.6.1. Section de réfrigération :***

Le propane provenant de la sphère est stocké dans le ballon D16. Il passe à travers un sécheur (K8) où les traces d'humidité sont absorbées par le silicicole.

Le propane liquide subit une série de détente, les vapeurs de tête des ballons de détente D17, D18, D19 sont aspirées par le compresseur (G1) entraîné par turbine respectivement à (HP, MP, BP), puis condensées à l'eau dans E37 avant d'être recyclées dans le D16.

#### **III.6.2. Le cycle de détente :**

Le cycle de détente s'effectue comme suit

- **1<sup>ère</sup> détente** : du fond du ballon (D17), la température est entre 0 – 5 °C le propane liquide est utilisé comme réfrigérant au niveau des Schiller de Déshuilage (E9, E10).

- **2<sup>ème</sup> détente** : du fond (D18), le propane liquide à  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  est utilisé comme réfrigérant dans les Schiller de déparaffinage E4 ABCD et les cristallisations de solvant et de gaz inerte dans E33, E39.
- **3<sup>ème</sup> détente** : du fond (D19), on recueille un propane liquide dont la température est entre  $-39/-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  qui va servir à refroidir le solvant de lavage des filtres dans les cristallisoirs E34, E35.

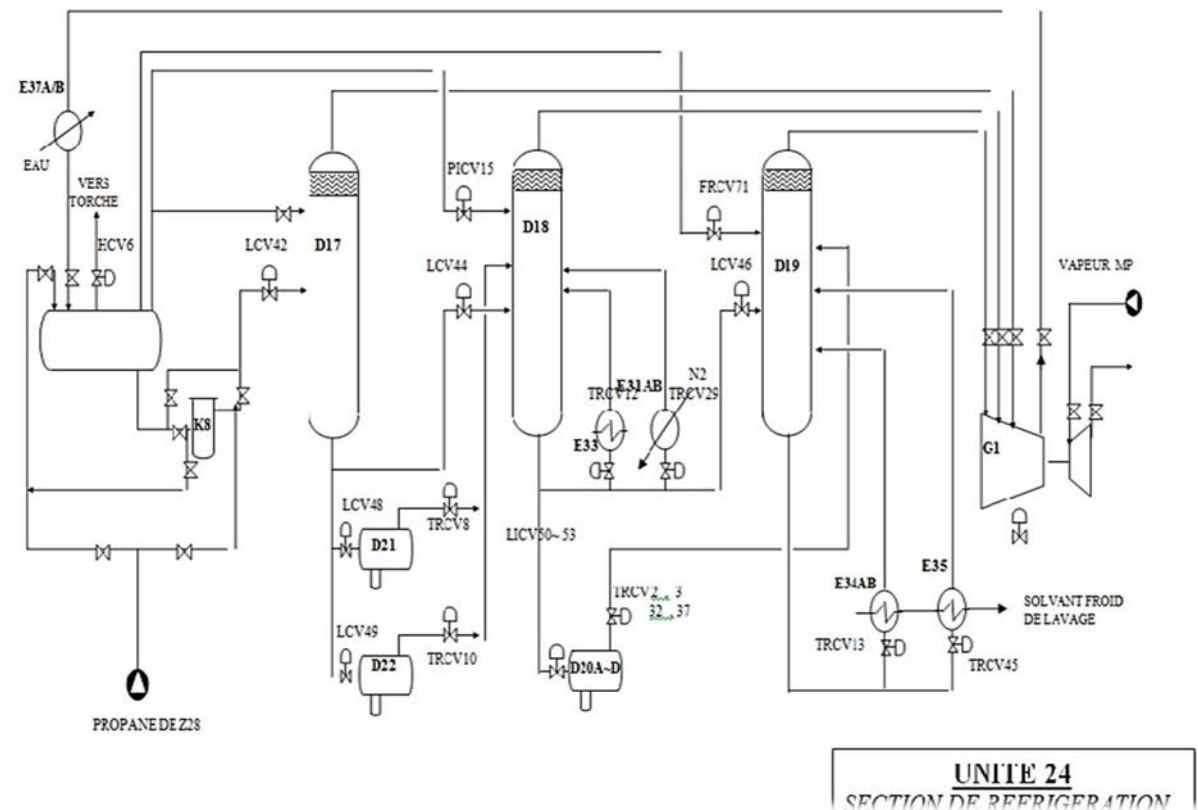


Figure 11: Section de réfrigération.

### III.6.3. Section de filtration :

#### a. Circuit de solvant

- Solvant humide

Le D11 est un réservoir utilisé comme ballon d'accumulateur de solvant humide. Il reçoit le solvant provenant des têtes de colonnes C7, C6 et C4, à une température de  $38^{\circ}\text{C}$ . Son rôle principal est de faciliter la première dilution du solvant, en permettant un flux continu vers les colonnes de récupération. Tout excès de solvant est dirigé vers

des bacs spécifiques. Ultérieurement, le solvant est récupéré par un processus de stripage dans la section dédiée à la récupération.

- Solvant sec

Le solvant sec est accumulé dans le D12, l'excès de solvant déborde vers D11 à travers un déversoir par la pompe G22, le solvant sec est aspiré à  $T = 38^{\circ}\text{C}$  et refoule vers les reflux des colonnes C1, C2, vers le E36 réchauffeur de solvant chaud de lavage où la température augmentée jusqu'à  $90^{\circ}\text{C}$  (ce solvant servira au lavage à chaud des filtres rotatifs sous vide et les Schiller). La même pompe (G2) assure également le débit de solvant froid (il servira de lavage des filtres rotatifs et des injections de la 2<sup>ème</sup> dilution de solvant sec).

Le solvant froid de lavage est refroidi par la DO (provenant du D2 à  $38^{\circ}\text{C}$ ) dans le E5, jusqu'à  $20^{\circ}\text{C}$ , dans entre  $-5, 10^{\circ}\text{C}$  et dans E34 jusqu'à  $-15^{\circ}\text{C}$  et enfin la température est chutée jusqu'à  $-26^{\circ}\text{C}$  dans E35 par le propane. Il va être utilisé pour laver le gâteau de paraffine (dans le filtre rotatif K1A/B/C) afin d'augmenter le rendement de l'huile.

➤ *Le solvant sec de la 2ème dilution* : Une partie de solvant sortie du E5 à  $20^{\circ}\text{C}$  est mélangé avec le solvant Provenant du mélange  $5^{\circ}\text{C}$ .

- Le solvant à  $20^{\circ}\text{C}$  (E5) + 5 à  $-100^{\circ}\text{C}$  (E33)  $\rightarrow T_m = 5^{\circ}\text{C} \rightarrow 1^{\text{ère}}$  injection
- Le solvant à  $20^{\circ}\text{C}$  (E5) + 5 à  $34^{\circ}\text{C}$  (E34)  $\rightarrow T_m = -10^{\circ}\text{C} \rightarrow 2^{\text{ème}}$  injection
- Le solvant à  $-15^{\circ}\text{C}$  (E34) + 5 à  $-26^{\circ}\text{C}$  (35)  $\rightarrow T_m = -20^{\circ}\text{C} \rightarrow 3^{\text{ème}}$  injection

Dans le but de permettre une cristallisation progressive et uniforme, favorisant la séparation par filtration entre les cristaux + huile au niveau de la toile filtrante, pour augmenter le rendement en huile et une durée de vie plus grande.

## b. Circuit de charge

La pompe de charge G3 aspire à partir des bacs le grade de charge à traiter, la charge est mélangée avec le solvant de la 1ère dilution. La température à l'entrée du E1 chute à  $38^{\circ}\text{C}$ , le mélange est chauffé dans le E1 avec la vapeur humide ceci pour dissoudre tous les cristaux de paraffine afin de permettre par la suite une cristallisation uniforme des cristaux de paraffine. Il est ensuite refroidi à l'eau dans le E2 jusqu'à  $38^{\circ}\text{C}$  avant d'être diviser en 2 passes, refroidi dans les Schillers E3 A, C jusqu'à  $20^{\circ}\text{C}$  et E3BD jusqu'à 0

°C où le refroidissement se fait par un mélange d'huile déparaffinée et un deuxième refroidissent dans les schillers E4AC, jusqu'à - 15 °C et E4BD jusqu'à - 26 °C où le refroidissement se fait par le propane. Le mélange est envoyé vers le D1 ballon d'alimentation des filtres rotatifs sous vide, dans le K1 A/B/C.

*La DO* : le mélange huile déparaffinée et solvant passe à travers la toile filtrante et se déverse dans le D2 où le vide est maintenu à - 500 mmhg (la charge est aspirée grâce à un compresseur), la DO est envoyée vers les Schillers E3B/A, E3 D/C avant d'être refroidi, le solvant dans E5 et enfin vers D7 ballon d'accumulateur d'alimentation de la section de récupération de solvant dans la DO.

La paraffine cristallisée : la paraffine cristallisée est maintenue sur la toile filtrante sous l'effet du vide, une injection de gaz inerte permet de casser le vide et favoriser le raclage de la paraffine sur la toile filtrante et envoyer vers la botte.

La paraffine passe soit dans le D9, système de récupération du solvant dans le cas où la charge traitée est SPO ou BS ou vers le déshuilage dans le cas où la charge traitée MVO ou VO.

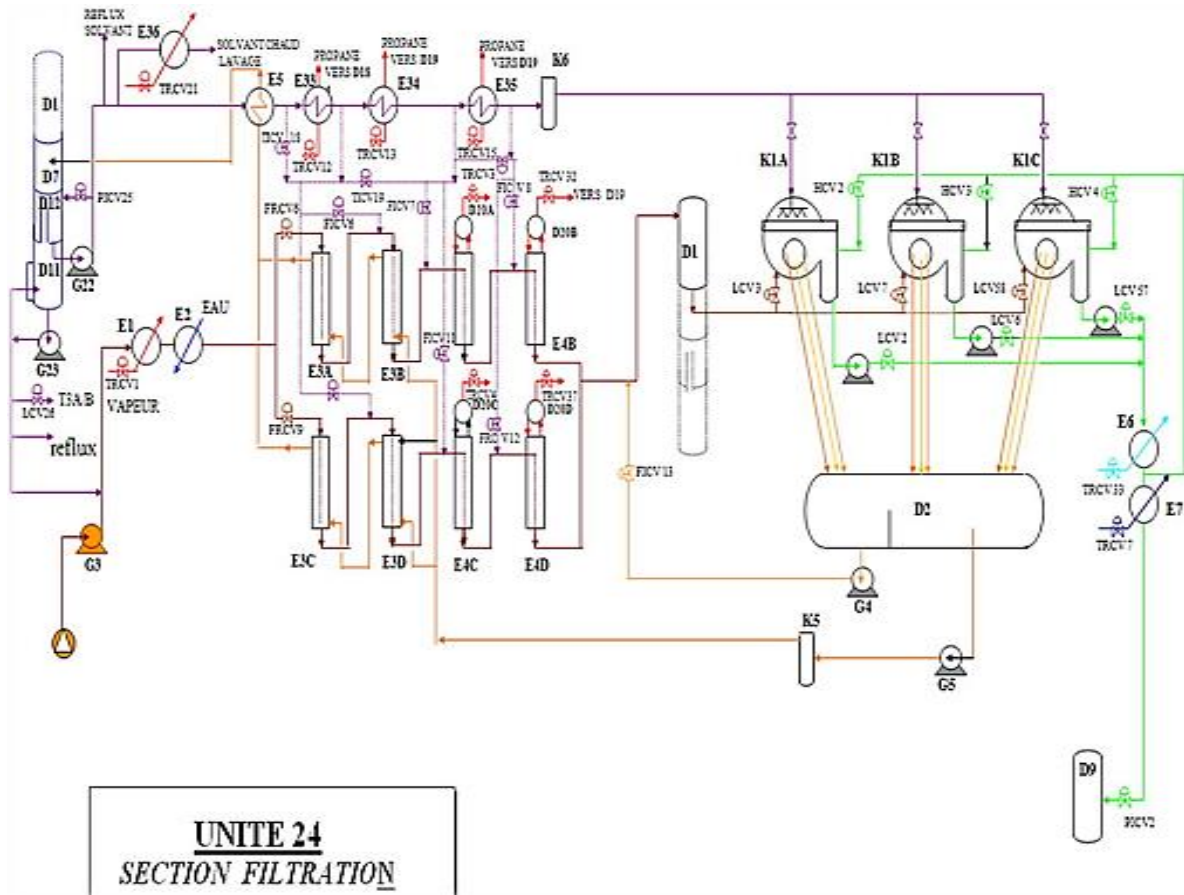


Figure 12: Section Filtration.

### III.6.4. Section de récupération de solvant d'huile de paraffine :

Le même principe que le SW et le HW, le mélange d'huile déparaffinée est chauffé dans les échangeurs (E14, E15) avant de subir deux détentes.

- **1ère détente** : dans la colonne de flash C1 à basse pression où une partie de solvant s'évapore puis est condensée à l'eau avant d'être stockée.
- **2ème détente** : du fond de C1, le mélange est réchauffé jusqu'à 210 °C dans le four, ensuite il est détendu à haute pression dans la colonne C2.

La partie de solvant s'évapore puis est condensée par un aéroréfrigérant avant d'être stocké dans le D12. Du fond de C2, le mélange contient des traces de solvant qui peut être éliminé par stripage à la vapeur dans le stripper C3.

Elimination des dernières traces de solvant (DO, SW, HW) des têtes des strippers C3, C9 et C5. Les vapeurs de solvant vont être collectées avant d'être condensées à l'eau dans E31 et par différence de densité, le solvant se décante puis déborde dans le côté riche en solvant,

l'autre côté subit un 2<sup>ème</sup> stripage dans C9 où le mélange azéotropique monte en tête et l'eau séparée est drainé vers PPI.

### **III.6.5. Section de déshuilage :**

Lors de traitement de charge MVO, VO, le mélange passe pour la section de déshuilage dans le but d'obtenir des paraffines dures (0,3 % d'huile).

La paraffine non déshuillée chauffe dans E6 jusqu'à 60 °C. Une injection de solvant à l'entrée du E7 et E9, permet de dissoudre tous les cristaux de paraffine pour avoir par suite une cristallisation uniforme de la paraffine, pour avoir une chute de la température jusqu'à 10 °C. Le mélange est réchauffé dans E7 jusqu'à 50 °C et passe ensuite dans les Schillers E8 où il est refroidi avec la paraffine molle jusqu'à 20 °C et par le propane jusqu'à 8 °C.

Le mélange paraffine dure est recueilli sur la toile du K2 où il est mélangé avec le solvant humide à 38 °C et sorte la botte vers E10 où il est refroidi par le propane. Le mélange subit d'autres séparations dans K3, la paraffine dure est récupérée et envoyée vers D8.

Le mélange solvant huile récupérée est refoulé vers :

- 1<sup>ère</sup> dilution de solvant : déshuilage primaire.
- 2<sup>ème</sup> dilution du solvant : lavage froid du filtre de déshuilage primaire K2.

### **III.6.6. Section de gaz inerte :**

Production d'azote : La production d'azote est obtenue par combustion du gaz naturel en présence de l'air atmosphérique dans le générateur d'azote K4. Les gaz de combustion refroidis à l'eau jusqu'à 20 °C avant d'être stocké dans la cloche T4.

Les gaz de combustion sont composés de : O<sub>2</sub> (0,5 %), CO<sub>2</sub> (10 %), N<sub>2</sub> (le reste).

L'azote obtenu sert :

- Pour l'étanchéité des ballons ou des bacs contenant les solvants afin d'éviter leur explosion avec l'air.
- Pour éviter la corrosion.

Le compresseur de gaz inerte G2 aspire du D23 et maintient le vide (- 500 mmHg) dans les ballons D2, D4 et D6 qui permet la séparation entre le mélange paraffine et le mélange DO, le gaz inerte comprimé est refroidi à l'eau dans le E38 jusqu'à 25 °C puis dans le E39

avec le propane jusqu'à 5 °C avant d'aller dans le D25 (ballon séparateur) où les traces de solvant et d'eau condensées sont envoyées vers D13 et D15.

Le gaz inerte passe vers les filtres K1, K2 et K3 pour favoriser le décollage de la paraffine. L'excès d'azote est envoyé vers la cloche T4.

### **III.6.7. Section de récupération de solvant de la paraffine :**

#### **a. La paraffine molle (soft wax)**

Le mélange paraffine molle est stocké dans un ballon décanteur (D9) où l'eau décantée est envoyée vers le D10. Le mélange est chauffé par deux échangeurs le E25, E26 jusqu'à (102 °C) respectivement par les vapeurs de solvant provenant des têtes de colonnes C6 et C7.

Le mélange subit une détente dans la colonne de flash à basse pression C6. Du fond de C6, le mélange est réchauffé par la paraffine molle provenant du fond du stripper C8 et ensuite dans le four F2 jusqu'à 210 °C. A la sortie du four, il passe vers la colonne de flash à haute pression C7, le fond de cette colonne est recueillie dans le stripper C8 (à la vapeur surchauffé) permet d'éliminer les dernières traces de solvant qui sont envoyés vers l'échangeur E31, du fond de C8 la paraffine molle passe par E27 avant d'être envoyé vers fuel.

Les vapeurs de solvant provenant des têtes de colonnes C8, C7 respectivement utilisés pour réchauffer le mélange avant d'être condensé et stocké dans les ballons D11 et D12.

#### **b. La paraffine dure (Hard wax)**

Le mélange (H10) à partir du D18 est réchauffé par trois échangeurs E20, E24 et E29 jusqu'à 180 °C. Il subit une détente à basse pression et un strippage à la vapeur surchauffée permet d'éliminer les dernières traces de solvant qui sont envoyées vers l'échangeur E31. Du fond du stripper (C5), la paraffine dure sort à 160 C° pour réchauffer le mélange avant d'être envoyé soit vers la zone 6 dans le cas où le déshuilage étant en service soit vers fuel. La vapeur de solvant provenant de la tête du C4 réchauffe le mélange avant d'être condensée et stockée dans les ballons D11 et D12.

### **III.6.8. Section de récupération de solvant d'huile de paraffine**

Le même principe que le SW et le HW, le mélange d'huile déparaffinée est chauffé dans les échangeurs (E14, E15) avant de subir deux détente.

- **1<sup>ère</sup> détente** : dans la colonne de flash C1 à basse pression où une partie de solvant s'évapore puis est condensée à l'eau avant d'être stockée.
- **2<sup>ème</sup> détente** : du fond de C1, le mélange est réchauffé jusqu'à 210 °C dans le four, ensuite il est détendu à haute pression dans la colonne C2. La partie de solvant s'évapore puis est condensée par un aéroréfrigérant avant d'être stockée dans le D12. Du fond de C2, le mélange contient des traces de solvant qui peut être éliminé par stripage à la vapeur dans le stripper C3.

Elimination des dernières traces de solvant (DO, SW, HW) des têtes des strippers C3, C9 et C5. Les vapeurs de solvant vont être collectées avant d'être condensées à l'eau dans E31 et par différence de densité, le solvant se décante puis déborde dans le côté riche en solvant, l'autre côté subit un 2<sup>ème</sup> stripage dans C9 où le mélange azéotropique monte en tête et l'eau séparée est drainé vers PPI (Parallèle Plate Interceptor).

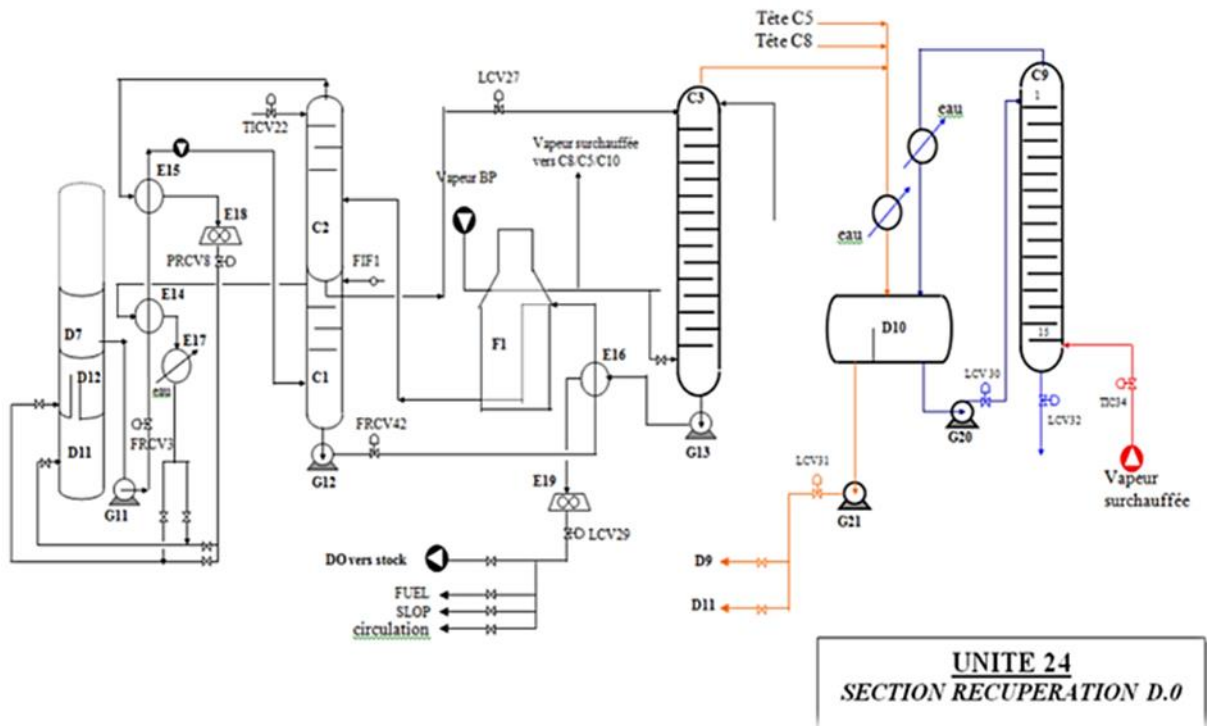


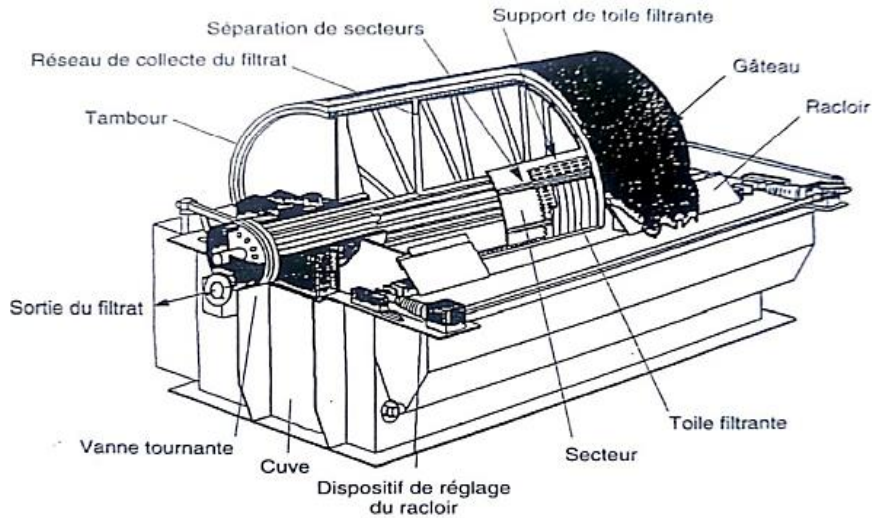
Figure 13: Section Récupération D.0.

### III.7. Détails sur la section de filtration :

#### *III.7.1. Description d'un filtre rotatif :*

Le dispositif de filtration utilisé est le filtre rotatif sous vide, qui se compose d'un tambour cylindrique horizontal recouvert d'une toile filtrante fixée à sa surface à l'aide de

treillis métalliques [3]. Ce tambour est divisé en une trentaine de secteurs étanches les uns par rapport aux autres par des cloisons radiales. Quatre opérations - filtration, lavage, séchage et décollage du gâteau - sont menées simultanément de manière cyclique sur ces secteurs [4].



**Figure 14:** Schéma filtre rotatif a toit.

Le tambour est enfermé dans une enveloppe métallique étanche. L'huile à filtrer est introduite dans cette enceinte jusqu'à un niveau réglable, qui est maintenu constant afin d'immerger la partie inférieure du tambour. À l'intérieur du tambour, des conduites recueillent le liquide aspiré à travers les secteurs filtrants et débouchent sur une couronne percée d'orifices, qui agit comme une vanne rotative pour les conduites d'alimentation ou d'évacuation.

Un cycle complet de fonctionnement se déroule comme suit pour chaque secteur :

- a. Le secteur est immergé et relié à l'aspiration sous vide pour permettre l'évacuation du filtrat, tandis que le gâteau se forme à l'extérieur.
- b. Peu après que le gâteau ait émergé du liquide, il est lavé avec un solvant, pendant que le secteur correspondant est connecté à une aspiration qui recueille le maximum de solvant.
- c. Au-delà de cette zone, le secteur est mis en communication avec une arrivée de gaz inerte sous pression, ce qui soulève le gâteau et le détache de la toile filtrante.

- d. Finalement, un couteau racleur enlève le gâteau qui tombe dans une goulotte d'évacuation. Le secteur entre à nouveau en contact avec la suspension et le cycle recommence.

Les filtres rotatifs offrent l'avantage de combiner plusieurs fonctions dans un même appareil, et ils permettent une grande flexibilité de fonctionnement grâce au réglage de la pression différentielle, de la vitesse de rotation, de l'épaisseur de la pré-couche et du degré d'immersion dans la charge à filtrer.

En augmentant la vitesse de rotation, l'épaisseur du gâteau devient plus faible, ce qui réduit la résistance et permet d'augmenter le débit du filtre.

### **III.7.2. Principe de filtration :**

Le procédé de filtration par différentes étapes [5] :

#### **a. Étapes de filtration**

Initialement, le secteur est plongé dans un mélange de charges et de solvants. Il est connecté au ballon de collecte du filtrat par le biais de lignes de collecte et d'une vanne tournante, le tout étant maintenu sous vide.

Le tambour extérieur est maintenu à une pression légèrement supérieure à la pression atmosphérique, ce qui permet l'aspiration du filtrat vers le ballon de collecte, tandis que le résidu se dépose sur la toile.

#### **b. Étape de lavage**

Le résidu contient encore de l'huile que l'on souhaite récupérer. Pour cela, un circuit de solvant froid est introduit dans la partie supérieure du filtre, où il est pulvérisé sur la surface du résidu sous vide.

Le solvant déplace le filtrat contenu dans le résidu, qui est ensuite récupéré. À la fin de cette étape, l'injection de solvant est interrompue pour bien sécher le résidu.

Le solvant est distribué à l'aide de buses d'injection pour garantir une répartition uniforme et améliorer l'efficacité de cette dilution. La récupération du filtrat se fait à travers trois tuyaux distincts, équipés de vannes permettant de séparer les filtrats correspondant à la zone immergée, à la zone d'épuisement et à la zone d'assèchement.

#### **c. Étape de soufflage**

Le gaz inerte produit dans l'unité est appliqué au collecteur du secteur, ce qui déforme légèrement la toile filtrante. Cela facilite la désagrégation du résidu, qui est ensuite évacué par le gaz.

Un racleur est positionné à quelques millimètres de la toile filtrante pour empêcher le résidu de retomber dans la cuve. Bien que l'opération du filtre rotatif soit continue, chaque secteur fonctionne de manière discontinue au cours d'un cycle de filtration.

Le résidu tombe dans un convoyeur à vis qui le transporte vers la botte, tandis qu'un retour de paraffine chaude a lieu au niveau de la botte pour faciliter le transport de la paraffine vers le ballon accumulateur.

### **III.8. Références :**

- [1] “Fiche Technique de complex RA1/Z”, Fiche technique.
- [2] “UNITE 24, Description du procédé”, Fiche technique.
- [3] Solberg, “The Importance of industrial filtration in manufacturing,” 2022, Site web: <https://www.solbergmfg.com/fr/resources/blog/why-are-industrial-filtration-systems-important> (accessed Jun. 03, 2023).
- [4] “Eléments principaux - Maté Vi.”, Site web: <https://www.matevi-france.com/œnologie/filtration/filtre-rotatif-sous-vide/en-savoir-sur-le-filtre-rotatif-sous-vide/1387-elements-principaux.html> (accessed Jun. 24, 2023).
- [5] Benyoussa Fatima, “Impact de dégradation de la toile filtrante sur le procédé de déparaffinage”, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2019.
- [6] *J-P WAUQUIER, “Procédé séparation”, Tome. II, 1994., p. 64.*

# **CHAPITRE IV : PARTIE PRATIQUE, INTERPRETATION ET DISCUSSIONS DES RESULTATS**

### **IV.1. Problématique :**

Depuis sa mise en service, le système de déparaffinage utilisant l'unité MEC/Toluène rencontre divers problèmes mécaniques au niveau de ses équipements, notamment les filtres et les chillers. Ces problèmes ont un impact direct sur le rendement et la qualité de l'huile produite. L'un des problèmes principaux réside dans le point d'écoulement de l'huile obtenue, ainsi que dans son rendement.

Malgré le fait que nous travaillons à des températures plus élevées (-21 à -23°C), nous constatons une augmentation du point d'écoulement de l'huile jusqu'à 0°C, dépassant ainsi la valeur prévue. Le point d'écoulement se réfère à la température la plus basse à laquelle un lubrifiant continue de s'écouler. En dessous de ce point, l'huile tend à s'épaissir et à cesser de s'écouler librement.

Plusieurs facteurs influent sur le point d'écoulement « PP » de l'huile déparaffinée, à savoir :

- Un refroidissement uniforme assuré par les chillers.
- La température de filtration.
- La composition du solvant (MEC/Toluène).
- Une filtration adéquate.

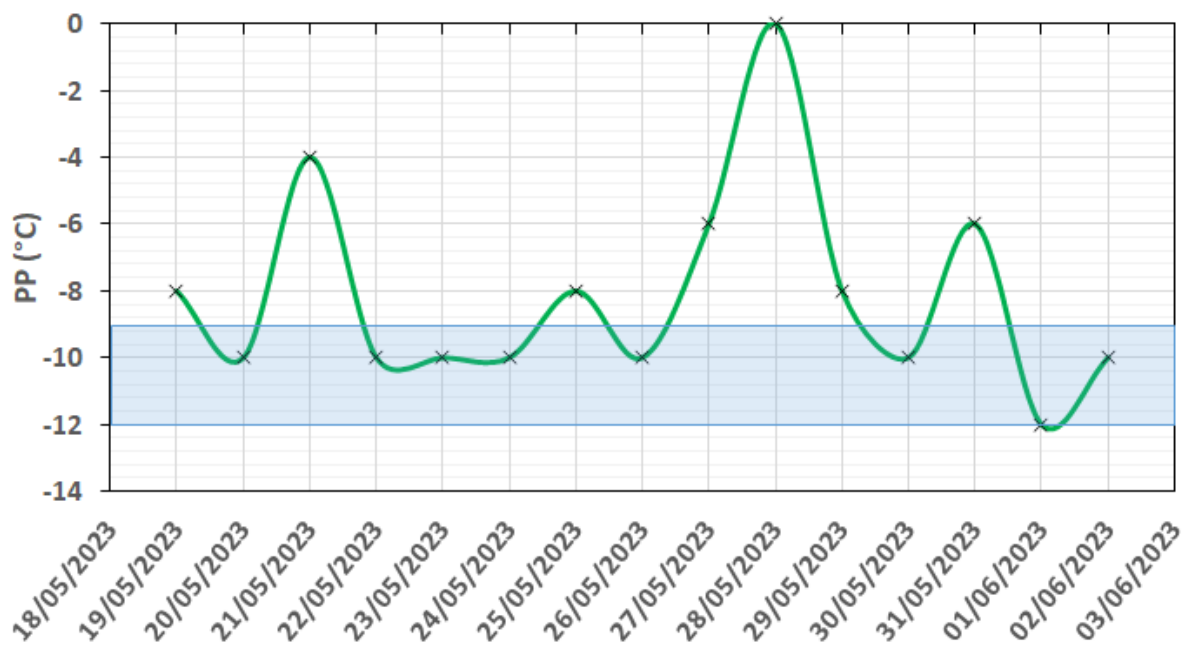
Dans la zone 7 (Unité 24), nous avons étudié l'évolution du point d'écoulement de l'huile paraffinée au cours d'une période de 15 jours. Les résultats d'analyse trouvés sont représentés dans le tableau et la figure suivants.

**Tableau 5:** Evolution du point d'écoulement de l'huile - suivi de 15 jours.

<b>N° jour</b>	<b>La date</b>	<b>Point d'écoulement PP (°C)</b>
<b>1</b>	<b>19/05/2023</b>	<b>-8</b>
<b>2</b>	<b>20/05/2023</b>	<b>-10</b>
<b>3</b>	<b>21/05/2023</b>	<b>-4</b>
<b>4</b>	<b>22/05/2023</b>	<b>-10</b>
<b>5</b>	<b>23/05/2023</b>	<b>-10</b>
<b>6</b>	<b>24/05/2023</b>	<b>-10</b>
<b>7</b>	<b>25/05/2023</b>	<b>-8</b>
<b>8</b>	<b>26/05/2023</b>	<b>-10</b>

9	27/05/2023	-6
10	28/05/2023	0
11	29/05/2023	-8
12	30/05/2023	-10
13	31/05/2023	-6
14	01/06/2023	-12
15	02/06/2023	-10

- La figure ci-dessus présente la variation de PP en fonction du temps



**Figure 15:** La variation de point d'écoulement au cours de 15 jours.

Selon les données fournies par la Figure 15, une augmentation du point d'écoulement jusqu'à 0°C est observée. Cependant, il convient de noter que le point d'écoulement d'une huile déparaffinée devrait normalement se situer entre -9°C et -12°C.

Cette variation du point d'écoulement est attribuable à un dysfonctionnement dans un équipement de séparation, plus précisément un filtre rotatif.

#### **IV.2. Les sources possibles de fluctuation du point d'écoulement :**

Les facteurs qui peuvent influencer le point d'écoulement sont nombreux, on peut citer :

- Le régime de refroidissement : Le mode de refroidissement influence le point d'écoulement et se termine par la température de filtration. Ce mode décrit la façon dont les cristaux de paraffine se forment lors du processus de refroidissement dans les schillers et il est identifié par la vitesse de refroidissement (W). La valeur moyenne de cette vitesse est d'environ 1,6 °C/min pour la totalité des schillers de volumes identiques égale à 6,07 m<sup>3</sup> (le temps de séjours des schillers est de 13,4 min).
- Nature de la charge : La nature de la charge joue un rôle essentiel dans les résultats du déparaffinage. Lorsque la charge contient une quantité plus importante de composés aromatiques qui dissolvent mieux les paraffines, cela retarde la cristallisation, ce qui entraîne la formation de cristaux de type microcristallin (de très petite taille), ceci rend la filtration plus difficile. Ce problème est causé par un indice de viscosité non ajusté du raffinat, dû à un dysfonctionnement de l'unité d'extraction des aromatiques U300.
- Rapport MEK/Toluène : Le solvant utilisé pour le déparaffinage joue un rôle essentiel dans l'unité. Des variations de sa composition, de sa teneur en MEK (Methyl Ethyl Keton) et de son taux peuvent entraîner un déséquilibre dans les spécifications de l'huile.
- Etat de marche des filtres : a filtration constitue la dernière étape importante qui permet de séparer le mélange liquide-solide, également appelé « slurry ». Cela est réalisé à l'aide d'un tissu filtrant qui retient la partie solide, formant ainsi un « gâteau » composé de paraffine et de solvant, tout en laissant passer le 'filtrat' qui est l'huile mélangée au solvant. Dans l'ensemble, l'unité de déparaffinage est équipée de six filtres, mais seuls trois des quatre filtres sont actuellement en fonctionnement. Le nombre de filtres utilisés pendant le déparaffinage a une incidence sur le point d'écoulement de l'huile.

Les analyses réalisées au cours de notre stage au niveau de l'Unité 24 nous ont permis d'étudier l'influence des paramètres suivants sur le point d'écoulement :

#### **IV.2.1. Influence du taux de MEK (Methyl Ethyl Keton) et la température de refroidissement sur le point d'écoulement :**

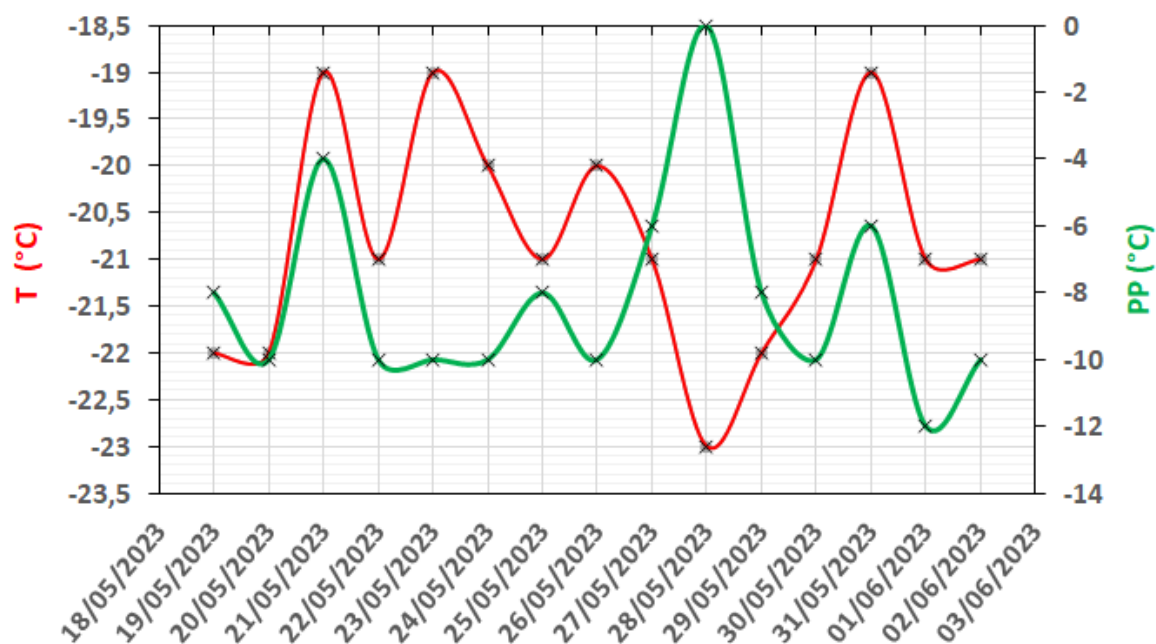
La cristallisation des paraffines est favorisée par l'utilisation du MEK (Méthyléthylcétone) et par la température de refroidissement. Dans des conditions normales de fonctionnement, un pourcentage de MEK de 50% et une température de refroidissement de

-23°C sont utilisés. Cependant, il est important de noter qu'en général, la température de refroidissement ne dépasse pas -21°C afin d'éviter l'obstruction du cristalliseur. Une différence de température plus élevée peut entraîner une augmentation de la teneur en MEK, qui ne doit pas dépasser 75%.

Une augmentation de la teneur en MEK au-delà de 75% peut entraîner une augmentation de la quantité d'huile résiduelle dans la paraffine, ce qui se traduit par un rendement en huile déparaffinée plus faible.

**Tableau 6 :** Evolution de la température par rapport au PP de l'huile - suivi de 15 jours.

N° jour	La date	Point d'écoulement PP (°C)	Température (°C)
1	19/05/2023	-8	-22
2	20/05/2023	-10	-22
3	21/05/2023	-4	-19
4	22/05/2023	-10	-21
5	23/05/2023	-10	-19
6	24/05/2023	-10	-20
7	25/05/2023	-8	-21
8	26/05/2023	-10	-20
9	27/05/2023	-6	-21
10	28/05/2023	0	-23
11	29/05/2023	-8	-22
12	30/05/2023	-10	-21
13	31/05/2023	-6	-19
14	01/06/2023	-12	-21
15	02/06/2023	-10	-21



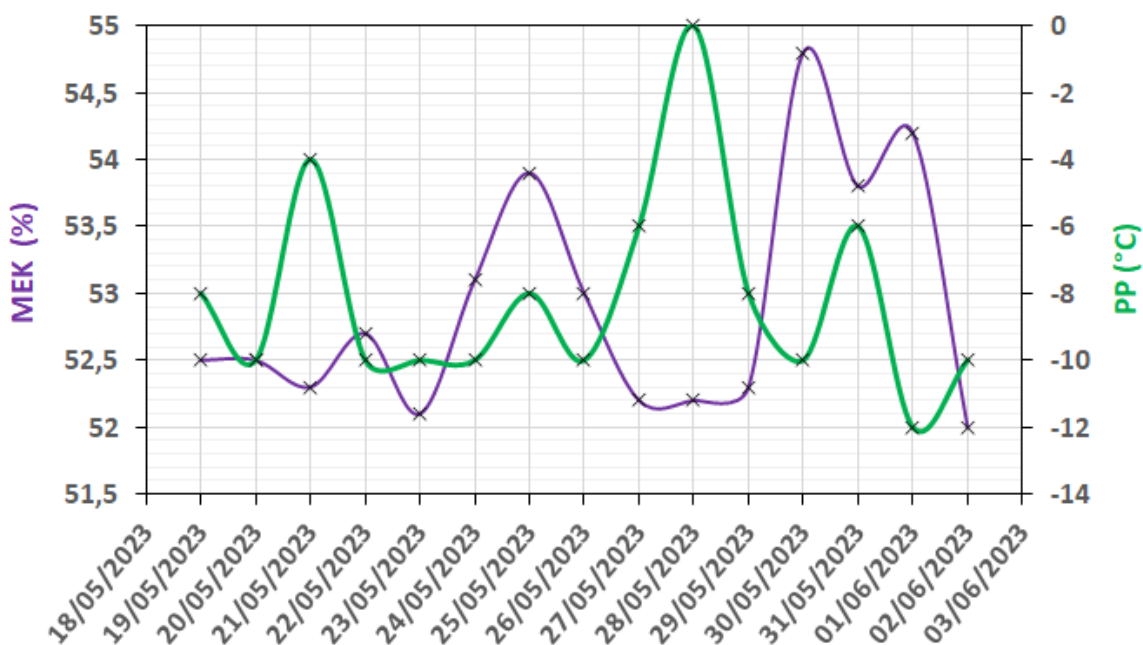
**Figure 16 :** Effet de température de refroidissement sur le point d'écoulement.

Les courbes présentées dans la Figure 16 illustrent l'effet de la température de refroidissement sur le point d'écoulement (PP) au fil du temps. Il est observé que le point d'écoulement varie en fonction de la température de refroidissement. Par exemple, à une température de cristallisation de  $-19^{\circ}\text{C}$ , le PP est de  $-4^{\circ}\text{C}$ , tandis qu'à une température de  $-23^{\circ}\text{C}$ , le PP est de  $0^{\circ}\text{C}$ . Il est important de noter qu'il y a une augmentation du PP même à des températures de refroidissement très basses.

Cependant, il convient de souligner que dans le cas général, la température de refroidissement ou de cristallisation influe sur le point d'écoulement. Contrairement à cette tendance générale, la Figure 16 montre que la température de refroidissement n'a aucune influence sur le point d'écoulement. Cette observation indique que la variation de la température de refroidissement n'a aucun effet sur la fluctuation observée du point d'écoulement. Néanmoins, il faut noter une température trop importante pourrait engendrer la dégradation de la toile filtrante [1].

**Tableau 7:** Evolution de la température par rapport au PP de l'huile - suivi de 15 jours.

N° jour	La date	Point d'écoulement PP (°C)	MEK %
1	19/05/2023	-8	52,5
2	20/05/2023	-10	52,5
3	21/05/2023	-4	52,3
4	22/05/2023	-10	52,7
5	23/05/2023	-10	52,1
6	24/05/2023	-10	53,1
7	25/05/2023	-8	53,9
8	26/05/2023	-10	53
9	27/05/2023	-6	52,2
10	28/05/2023	0	52,2
11	29/05/2023	-8	52,3
12	30/05/2023	-10	54,8
13	31/05/2023	-6	53,8
14	01/06/2023	-12	54,2
15	02/06/2023	-10	52



**Figure 17:** La variation de taux de MEK et le PP.

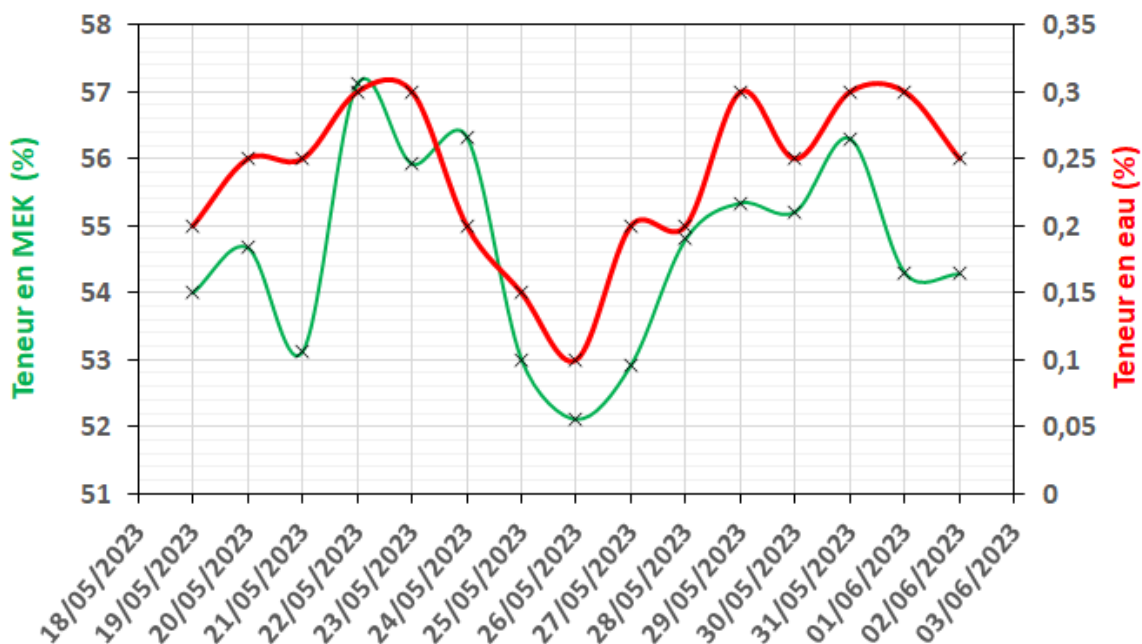
Les courbes présentées dans la Figure 17. décrivent l'évolution du taux de MEK ainsi que du point d'écoulement (PP) au fil du temps. Il est observé que le taux de MEK n'a aucune influence sur les fluctuations du point d'écoulement. Le taux de MEK fluctue entre 52 % et 55 %, ce qui est conforme aux normes établies.

#### IV.2.2. La teneur en eau et en MEK dans le solvant sec :

La teneur en eau du solvant sec est analysée en laboratoire par chromatographie en phase gazeuse, et elle doit rester en dessous de 0,05 %. Le tableau 8 ainsi que la figure IV.4 illustrent la variation de la teneur en eau et en MEK dans le solvant sec.

**Tableau 8 :** Evolution du teneur en MEK par rapport au teneur en eau dans le solvant sec :  
Suivi de 15 jours.

N° jour	La date	Teneur en MEK (solvant sec) %	Teneur en eau (solvant sec) %
1	19/05/2023	54	0,2
2	20/05/2023	54,67	0,25
3	21/05/2023	53,12	0,25
4	22/05/2023	57,11	0,3
5	23/05/2023	55,92	0,3
6	24/05/2023	56,33	0,2
7	25/05/2023	53	0,15
8	26/05/2023	52,11	0,1
9	27/05/2023	52,92	0,2
10	28/05/2023	54,8	0,2
11	29/05/2023	55,34	0,3
12	30/05/2023	55,21	0,25
13	31/05/2023	56,3	0,3
14	01/06/2023	54,3	0,3
15	02/06/2023	54,28	0,25



**Figure 18 :** Teneur en eau et en MEK dans le solvant sec

Les résultats révèlent que la quantité réelle d'eau présente dans le solvant sec est significativement plus élevée que celle prévue, atteignant jusqu'à 0,3 %. Cette augmentation peut être attribuée à des fuites causées par la présence de trous dans la toile filtrante, ce qui permet le passage des cristaux d'eau à travers le matériau traité.

Par ailleurs, on observe que la teneur en MEK dans le solvant sec se situe dans l'intervalle [52-57 %], ce qui indique une augmentation du taux de MEK. Cela suggère qu'il existe une relation entre la teneur en eau et en MEK.

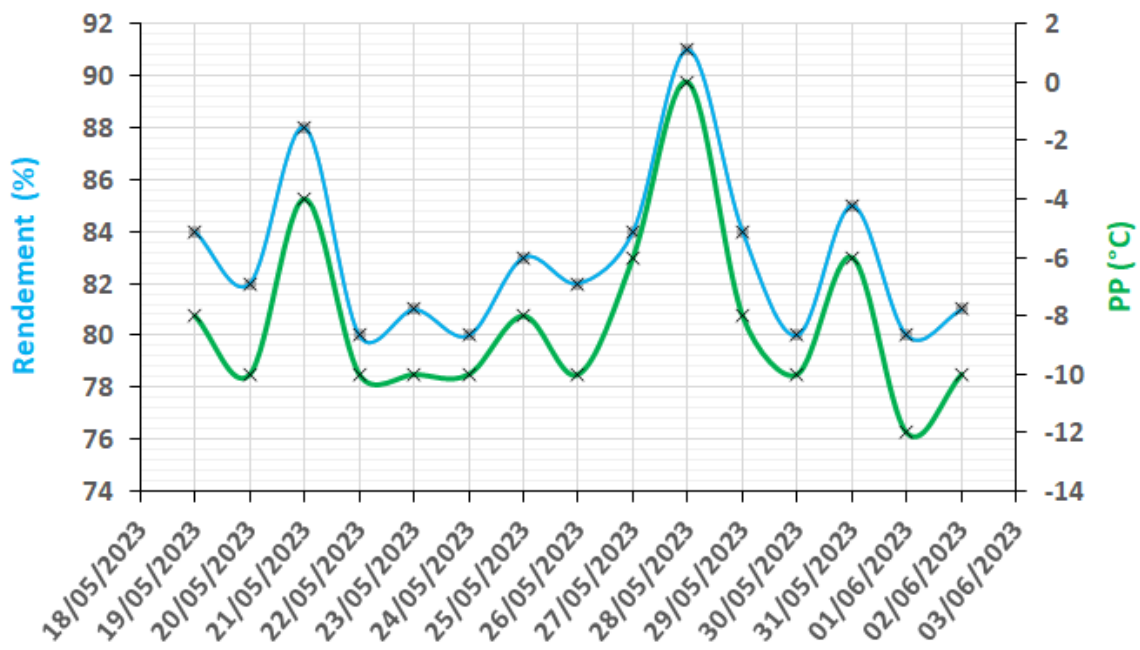
Il est important de noter que l'augmentation de la teneur en MEK dans le solvant sec entraîne également une augmentation de la teneur en eau.

#### **IV.2.3. La relation entre le point d'écoulement et le rendement du procédé de déparaffinage :**

Le rendement du procédé de déparaffinage a été également évalué pendant les 15 jours du suivi. Les valeurs trouvées ont été comparées aux points d'écoulement jour par jour.

**Tableau 9 :** Evolution du rendement par rapport au PP de l'huile - suivi de 15 jours.

N° jour	La date	Point d'écoulement PP (°C)	Le rendement ( $\eta$ ) %
1	19/05/2023	-8	84
2	20/05/2023	-10	82
3	21/05/2023	-4	88
4	22/05/2023	-10	80
5	23/05/2023	-10	81
6	24/05/2023	-10	80
7	25/05/2023	-8	83
8	26/05/2023	-10	82
9	27/05/2023	-6	84
10	28/05/2023	0	91
11	29/05/2023	-8	84
12	30/05/2023	-10	80
13	31/05/2023	-6	85
14	01/06/2023	-12	80
15	02/06/2023	-10	81



**Figure 19 :** L'évolution du rendement de procédé de déparaffinage et de PP .

En analysant la Figure 19, on observe une relation proportionnelle entre le rendement et le point d'écoulement. Lorsque le rendement augmente, le point d'écoulement augmente également. Cette observation peut être expliquée par la présence de paraffine dans l'huile déparaffinée, qui passe à travers des trous ou des déchirures au niveau de la toile filtrante.

Il est recommandé d'obtenir un rendement compris entre 80 % et 83 % pour un point d'écoulement situé entre  $-9^{\circ}\text{C}$  et  $-12^{\circ}\text{C}$ . Cependant, il est parfois possible d'atteindre un rendement de 85 % pour un point d'écoulement égal à  $-6^{\circ}\text{C}$ , voire même 91 % pour un point d'écoulement égal à  $0^{\circ}\text{C}$ . Toutefois, dépasser un rendement de 83 % peut affecter la qualité de l'huile déparaffinée, indiquant ainsi une mauvaise qualité.

Les résultats obtenus suggèrent que la dégradation de la toile filtrante est le principal facteur contribuant aux fluctuations des points d'écoulement.

#### **IV.2.4. Influence de l'état de marche des filtres :**

Grâce au suivi des pannes des filtres, nous avons pu identifier les anomalies potentielles susceptibles d'endommager les différentes pièces qui composent le filtre. Toutes ces informations sont regroupées dans ce tableau :

**Tableau 10 :** Tableau 10 : Les anomalies des six filtres

Les anomalies					
<b>F401</b>	Fuite de solvant au niveau de la vanne de soufflage	Fuite sur bride	Vis sans fin ne tourne pas	toile troué	Pose joint pleine sur la ligne d'azote
<b>F402</b>	Fuite de produit sur collier	fuite de solvant sur ligne de traçage	Toile troué	Toile troué	Toile troué
<b>F403</b>	Déclenchement fréquent	Problème au niveau de l'afficheur de vitesse	vis sans fin désaccouplé	les vannes des rompes R1 et R4(BS) + vanne de rinçage hublot sont défectueux	la tulipe de la bote vers D409 troué
<b>F404</b>	Toile troué	désaccoupleme nt moteur/Tambou r	fuite de solvant sur rompe N° 6	Bruit anormal cote réducteur	2 Vanne de rinçage hublot droite et gauche sont défectueuses
<b>F405</b>	La toile trouée	ventilons de moteur de vis sans fin est déplacée	tambour désaccouplé	vis sans fin désaccouplé	fuite de solvant sur rompes du filtre
<b>F406</b>	Fuite solvant	tambour désaccouplé	toile trouée	toile troué+ fuite de solvant au niveau de l'accordant de la vanne de distribution	les vannes des rompes R4 + R1(BS) + vanne de rinçage hublot droite sont défectueux

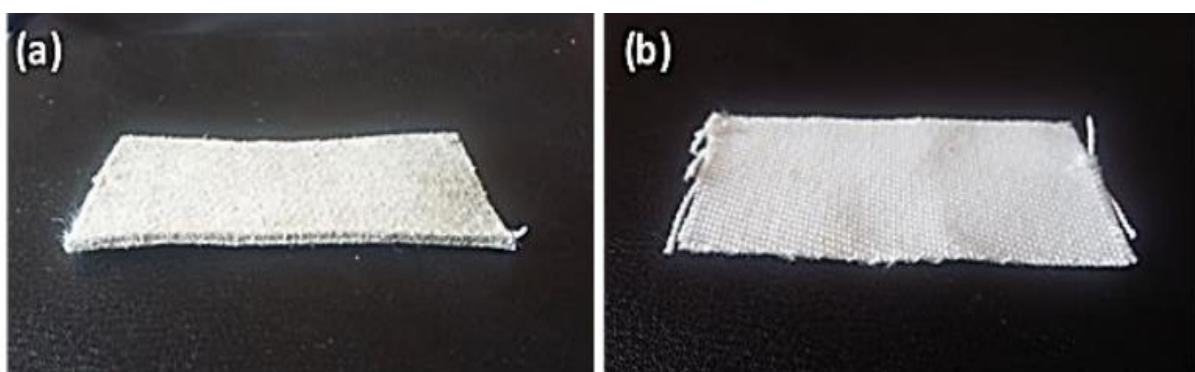
D'après les anomalies répertoriées dans le tableau 10, nous avons observé que les problèmes de « toile trouée » et de « fuite du solvant » se reproduisent pour chaque filtre, ce qui indique que les toiles filtrantes peuvent être de mauvaise qualité (de type synthétique). De plus, d'autres problèmes tels que des « bruits anormaux »... etc. ont également été identifiés, ce qui nécessite une surveillance régulière et une maintenance. Ces résultats nous ont conduits à réaliser une autre étude économique du coût investi pour la réparation afin de le comparer au coût d'achat d'un nouveau filtre, dans le but de choisir la meilleure solution pour résoudre ce problème.

### **IV.3. La toile filtrant industriel dans unité 24 :**

Avant d'utiliser la toile industriellement, il est essentiel d'effectuer des tests préliminaires en laboratoire pour évaluer des paramètres tels que la porosité et le débit de filtration. Les matériaux utilisés pour fabriquer la toile sont variés, tels que le coton, le nylon, etc. De plus, le choix du maillage de la toile doit être adapté à la nature de la charge traitée, qu'elle soit de type microcristallin ou macro cristallin.

L'opérateur effectue une inspection visuelle afin de s'assurer qu'il n'y a pas de déchirures dans la toile. Les déchirures pourraient permettre le passage de cristaux de paraffine dans l'huile, ce qui entraînerait une dégradation du point d'écoulement, du point de trouble et de l'aspect de l'huile déparaffinée.

La figure ci-dessous illustre la différence entre l'ancienne toile et la toile actuelle.



**Figure 20 :** Les différentes toiles filtrantes utilisées dans les filtres de l'unité 400, (a) toile ancienne et (b) toile actuelle.

**Tableau 11** : Caractéristiques de la toile filtrante.

Propriétés	Ancienne toile	Toile actuelle
Matière	100 % Coton	Synthétique
Poids (g/m <sup>2</sup> )	695	650
Epaisseur (mm)	2	1
Résistance thermique (°C)	80 - 100	70

Le Tableau 11 met en évidence les différences entre l'ancienne toile et la toile actuelle. Il est important de souligner que l'ancienne toile n'a subi aucun changement pendant 7 ans et n'a pas présenté de problèmes de fluctuation du point d'écoulement. En revanche, la toile actuelle a été réparée à plusieurs reprises, presque chaque année, ce qui démontre qu'elle ne répond pas aux exigences de performance de la section de filtration.

L'ancienne toile est utilisée dans les filtres F401 et F402, ce qui indique qu'elle est plus résistante que la toile actuelle. La toile actuellement utilisée est une toile synthétique de qualité inférieure par rapport à l'ancienne toile.

La dégradation de la toile peut être due à plusieurs facteurs, tels que l'épaisseur (1 mm), la qualité de la toile et la durée de vie.

#### **IV.4. L'influence de fluctuation du point d'écoulement sur le cout de la production :**

##### **IV.4.1. Le cout de réparation de la toile filtrante :**

Le coût de réparation du filtre F405 est déterminé en fonction du salaire des agents privés responsables de cette tâche, ainsi que par rapport au prix des pièces nécessaires. Les informations relatives au salaire des agents privés (GM et GC) en charge de la réparation du filtre F405 sont présentées dans le Tableau IV.8 (on note que ces chiffres datent de l'an 2019 car les données actualisées dans ce sujet ne nous ont pas été fournies) :

**Tableau 12:** Le salaire des agents GC et GM

Les groupes des agents	Coût horaire (DA)	Nombre d'heure de travail	Coût total (DA)
GM	1378,79	344	474303,76
GC	1442,81	72	103882,32

TOTALE	2821,6	416	578186,08
--------	--------	-----	-----------

A partir du Tableau nous remarquons que le coût total de payement des agents est 578186,08DA.

**IV.4.2. Le coût des pièces utilisées pour la réparation :**

Le cout des pièces employées pour la réparation de la toile filtrante est indiqué sur le tableau suivant (on note que ces chiffres datent de l’an 2019 car les données actualisées dans ce sujet ne nous ont pas été fournies) :

**Tableau 13 :** Coût des pièces utilisées pour la réparation.

Pièce	Qualité sortie	Prix unitaire	Prix totale
Fil d’armement 2,3*1000	4	76226,1	304904,588
Tissus de filtrage P/filtre tranchant	3	51111,2	153333,582
Tissus de filtrage P/filtre tranchant	15	51111,2	766667,91
Téflon en Barre 30m/mx11000m/m	200	29,68	5936

Le prix total des pièces utilisées pour la réparation du filtre F405 est estimé à 1230842,08 DA. Par conséquent, le coût total de la réparation du filtre F405 sur une période de 29 jours est égal à la somme du prix total des pièces utilisées pour la réparation et du salaire des agents. Ce coût total est estimé à 1809028,15 DA.

**Tableau 14 :** Prix de diffèrent grande d’huile de base

Huile De Base	Prix de 1 Tonne (DA)	Prix de (2900 Tonne production dans 29 jours)
BS	120500	349450000
SAE30	99200	287680000
SAE10	92500	268250000
Totale	312200	905380000

D'après le Tableau, on observe qu'un arrêt du filtre pendant la période de réparation entraîne une réduction de la production de 2900 tonnes, ce qui entraîne une perte totale estimée à 905380000 DA.

Ces résultats nous ont conduits à réaliser une autre étude économique afin d'estimer le coût d'achat d'un nouveau filtre et de le comparer au coût investi pour la réparation, dans le but de choisir la meilleure solution pour résoudre ce problème.

Pour l'achat d'un nouveau filtre, il est nécessaire de l'associer à deux pompes, l'une pour la paraffine et l'autre pour l'huile déparaffinée. Le coût d'achat d'un filtre avec les deux pompes est présenté dans le Tableau 15 (l'actualité de ces prix n'a pas pu être vérifiée, le personnel de l'unité nous l'a pas confirmé).

**Tableau 15 :** Tableau prix de filtre et deux pompes

Equipment	Prix (DA)
FILTRE405	69352197,26
POMPE407	1220340,79
POMPE431	3039339,32
TOTALE	73611877,37

Donc le coût total d'achat d'un filtre avec ces pompes est estimé à 73611877,37 DA.

Le nombre de jours de production nécessaire pour récupérer le prix d'achat d'un nouveau filtre est calculé comme suit :

$$\begin{array}{l}
 1 \text{ Tonne BS} \longrightarrow 120500 \text{ DA} \\
 X \longrightarrow 73611877,37 \text{ DA}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 1 \text{ Tonne BS} \\ X \end{array}} \right\} X = 610,88 \text{ Tonnes}$$

Pour gagner une somme de 73611877,37 DA, il faut produire 610,88 tonnes de BS.

$$\begin{array}{l}
 1 \text{ jour} \longrightarrow 100 \text{ Tonnes} \\
 X \longrightarrow 610,88 \text{ Tonnes}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 1 \text{ jour} \\ X \end{array}} \right\} X = 6,10 \text{ jours}$$

A partir de ces résultats on a trouvé que pour récupérer le prix du filtre il faut produire 610,88 Tonnes de BS cela dure environ 6 jours.

D'après les calculs on a trouvé que l'achat d'un nouveau filtre est mieux que la réparation

#### **IV.5. Conclusion :**

Au cours de ce stage, nous avons observé que la réduction de la charge est directement impactée par la diminution de la capacité de traitement des équipements. De plus, nous avons constaté que la fluctuation du point d'écoulement est le résultat de la dégradation de la toile filtrante.

En effectuant un suivi de l'unité 400 en amont, nous avons remarqué des décalages dans certains paramètres, tels que le point d'écoulement. Ces écarts auront un impact significatif sur la qualité de la séparation du procédé de déparaffinage, ce qui à son tour affectera les propriétés physico-chimiques des produits.

Et pour la réparation de la toile filtrant est trop couteuse par rapport aux l'achat d'un nouveau filtre mais malheureusement cette solution n'est utile dans unité 24.

**IV.6. Références :**

- [1] O. Jérémy, M. Akrama, V. Jean, C. Jean-Baptiste, C. Morgane, and V. Eugène, “Energy consumption analysis of sewage sludge electro-dewatering,” *Récents Progrès en Génie des Procédés*, vol. 104, 2013.

# CONCLUSION GENERALE

Les huiles minérales issues de la distillation du pétrole brut sont les plus couramment utilisées dans les secteurs automobile et industriel. Malgré leur coût modéré, elles offrent des performances moyennes.

L'objectif principal de l'unité de déparaffinage consiste à réduire les points de trouble et les points d'écoulement des huiles de base à la sortie de l'unité d'extraction des aromatiques, en éliminant les molécules paraffiniques à faible point de cristallisation.

Il est également crucial de souligner l'importance de ce complexe pour l'économie et l'industrie du pays, car il permet de répondre aux besoins du marché national et international. Cela est rendu possible grâce au sérieux et au dévouement du personnel de la raffinerie d'Arzew, en particulier ceux de la zone 07.

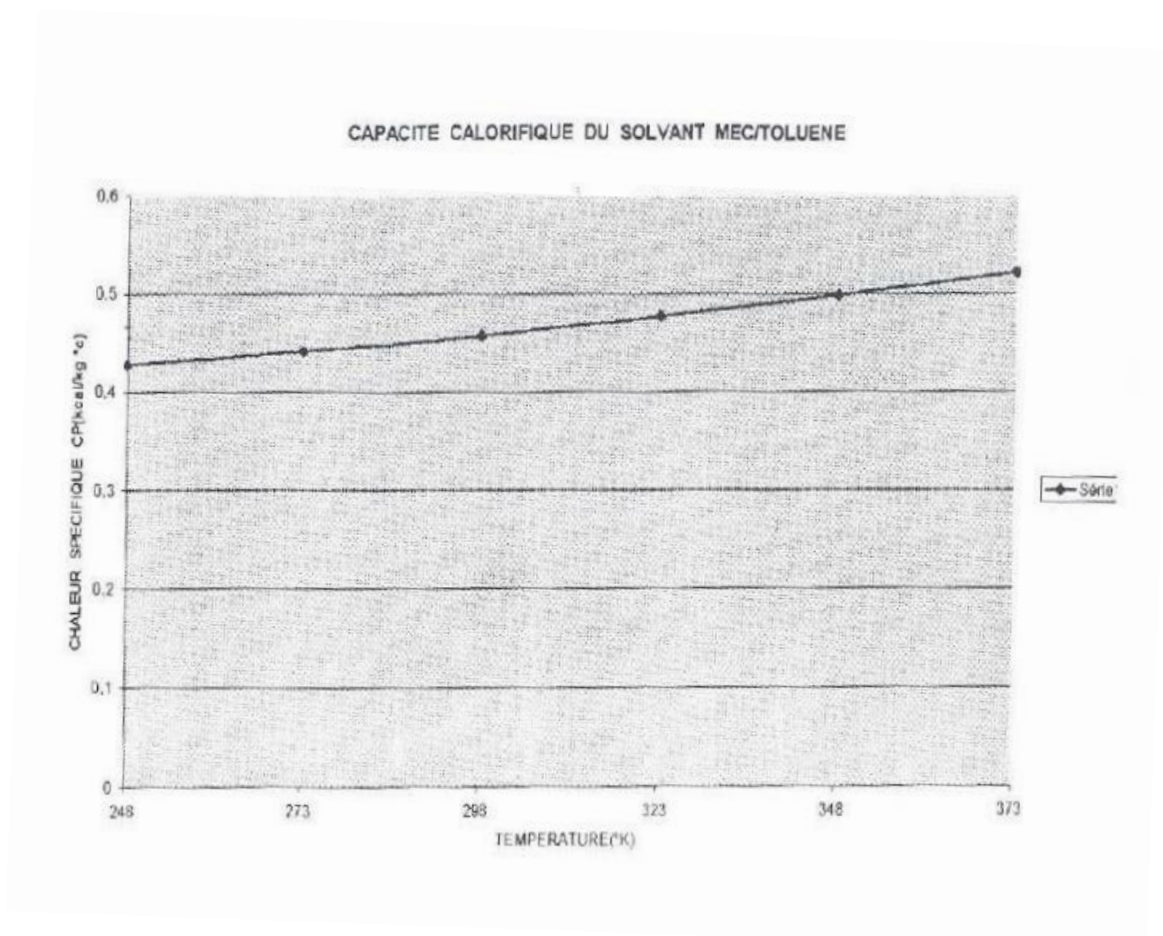
Pour assurer une bonne qualité des huiles dans l'unité 24, il est suggéré de maintenir et d'entretenir régulièrement les filtres, afin de garantir le pour point (PP) recherché de  $-12^{\circ}\text{C}$ .

En ce qui concerne la qualité des huiles, il est important de contrôler les produits issus des différentes unités ainsi que l'efficacité des filtres rotatifs de l'unité 24 et le rendement des séparations. À cet effet, les recommandations suivantes sont formulées :

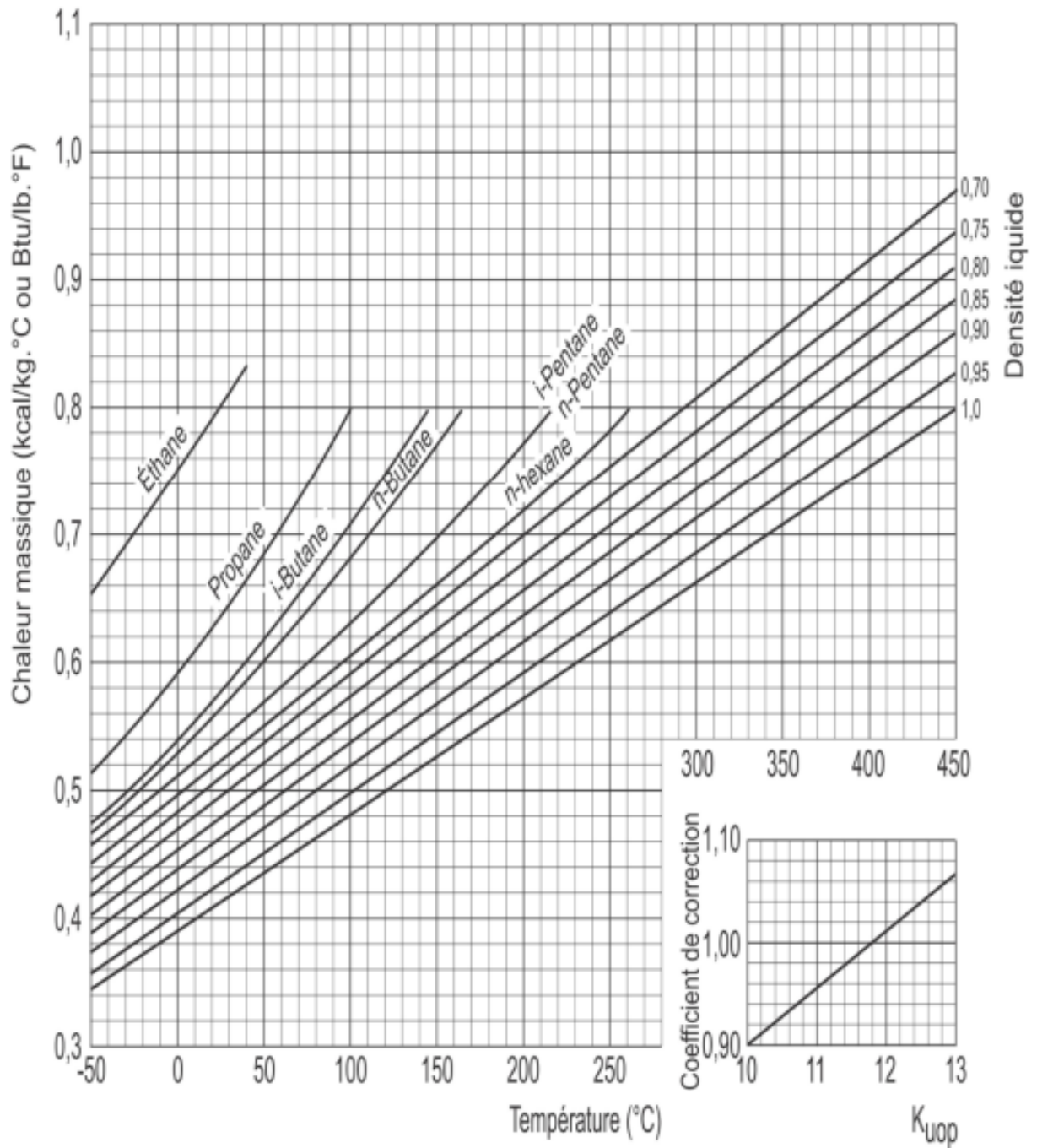
- Assurer un point d'écoulement des huiles produits entre  $-9^{\circ}\text{C}$  et  $-12^{\circ}\text{C}$ , conforme aux spécifications du design.
- Veiller à ce qu'aucune paraffine ne passe à travers la toile du filtre rotatif.
- Utiliser des toiles filtrantes de haute qualité adaptées aux besoins de la section de filtration.
- Effectuer un suivi régulier des filtres rotatifs et assurer leur entretien pour une exploitation optimale de ces équipements.

## ANNEXES

### Annexe 1 : Détermination de la chaleur massique de solvant (MEC + toluène).



**Annexe 2: Détermination de la chaleur massique des liquides.**



**Annexe 3 : Suivie de la teneur en eau par rapport au teneur design.**

<b>Date</b>	<b>Teneur eau %</b>	<b>Teneur design</b>
08/01/2023	0,25	0,05
13/01/2023	0,2	0,05
20/01/2023	0,2	0,05
22/01/2023	0,25	0,05
27/01/2023	0,3	0,05
29/01/2023	0,3	0,05
03/02/2023	0,9	0,05
05/02/2023	0,5	0,05
10/02/2023	0,35	0,05
12/02/2023	0,45	0,05
17/02/2023	0,4	0,05
19/02/2023	0,35	0,05
24/02/2023	0,5	0,05
26/02/2023	0,5	0,05
02/03/2023	0,5	0,05
04/03/2023	0,4	0,05
09/03/2023	0,5	0,05
11/03/2023	0,45	0,05
16/03/2023	0,4	0,05
20/03/2023	0,3	0,05
23/03/2023	0,4	0,05
20/03/2023	0,3	0,05
23/03/2023	0,4	0,05
25/03/2023	0,5	0,05
06/04/2023	0,4	0,05

#### **Annexe 4 : Débit du design**

<b>La charge m<sup>3</sup>/h pour TDC=100%</b>	26,4
<b>Le solvant de dilution</b>	105,6
<b>La vapeur surchauffée d'E - 401 kg/h</b>	700
<b>L'air de refroidissement d'E - 402 kg/h</b>	250 000

### Annexe 5 : Paramètres opératoires de section refroidissement

Date	11/02	01/03	07/03	08/03	09/03	13/03	14/03	15/03	16/03	17/03
<b>1<sup>ère</sup> dilution</b>	34	37	36	37	37	37	37	36	35	33
<b>Filtrat</b>	110	113	117	118	118	115	113	116	119	115
<b>T° entrée E403A</b>	44	46	44	44	45	46	44	46	45	46
<b>T° sortie E403A</b>	21	23	22	27	27	21	19	23	25	22
<b>T° sortie E403B</b>	8	13	7	9	10	10	7	10	8	9
<b>T° sortie E404A</b>	4	5	2	4	3	4	3	4	2	2
<b>T° sortie E404B</b>	-19	-17	-19	-21	-18	-18	-18	-18	-17	-19
<b>T° entrée E403B</b>	-15	-14	-16	-17	-15	-15	-15	-15	-14	-16
<b>T° sortie E403B</b>	4	2	3	4	4	3	3	2	4	4
<b>T° sortie E403A</b>	8	9	8	7	8	10	7	8	7	9
<b>T° entrée E403C</b>	44	46	44	44	45	46	44	46	45	46
<b>T° sortie E403C</b>	10	12	9	10	12	12	11	11	14	8
<b>T° sortie E403D</b>	2	2	1	1	1	1	1	1	2	-1
<b>T° sortie E404C</b>	-5	-6	-7	-5	-6	-6	-7	-7	-7	-6
<b>T° sortie E404D</b>	-19	-17	-19	-21	-18	-18	-17	-18	-17	-19
<b>T° entrée E403D</b>	-15	-14	-16	-17	-15	-15	-15	-15	-14	-16
<b>T° sortie E403D</b>	-5	-6	-7	-6	-6	-7	-6	-6	-5	-5
<b>T° sortie E403C</b>	15	14	15	15	17	17	15	15	18	14
<b>Point d'écoulement</b>	-6	-9	-12	-9	-9	-9	-9	-6	-9	-9