

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES

Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie



Département Génie des Procédés Chimiques et Pharmaceutiques

Mémoire de Master

Présenté par

BELABID Chaima

Filière : Hydrocarbures

Spécialité : Génie des Procédés-Raffinage

*Augmentation de la capacité de l'unité de Désasphaltage
au propane U200 de la raffinerie d'ARZEW en vue
d'augmenter le rendement*

Devant le jury :

SAOUD Abdessalem	MCA	UMBB	Président
BEDDA Kahina	MCA	UMBB	Examineur
MIMOUN Hadj	prof	UMBB	Encadrant

Année Universitaire : 2022/2023

Résumé

La zone 5 de la raffinerie d'Arzew comprend l'unité de Désasphaltage au propane (U200), qui sépare les asphaltènes et les résines lourds du résidu sous vide provenant de l'unité de distillation sous vide (U100), afin de produire du DAO, qui, une fois traité, devient une huile de base utilisée dans la production d'huiles finies, ainsi que du brai de Désasphaltage (asphalte) utilisé pour la fabrication des bitumes. Cependant, la viscosité élevée du DAO affecte sa qualité et ses performances, ce qui limite la capacité de l'unité à fonctionner à pleine charge (100%). Cela est dû à une augmentation du rendement de l'asphalte, mais le four H201 ne peut pas chauffer une si grande quantité d'asphalte en raison de la pression de fuel gaz requise, qui ne peut être augmentée.

L'objectif de notre travail est d'étudier le fonctionnement de la colonne RDC, les paramètres opératoires et le rendement du four H201 afin de recommander des solutions efficaces pour résoudre ce problème.

Abstract

Zone 5 of the Arzew refinery includes the Propane Desasphalting Unit (U200), which separates asphaltenes and heavy resins from the vacuum residue obtained from the Vacuum Distillation Unit (U100) to produce DAO (Desasphalted Oil). The DAO, once treated, becomes a base oil used in the production of finished oils. Additionally, the Propane Desasphalting Unit produces Desasphalting Pitch (asphalt) used in the manufacture of bitumen. However, the high viscosity of the DAO affects its quality and performance, limiting the unit's capacity to operate at full load (100%). This is due to an increase in asphalt yield, but the H201 furnace cannot heat such a large quantity of asphalt due to the required fuel gas pressure, which cannot be increased.

The objective of our work is to study the operation of the RDC column, the operating parameters, and the performance of the H201 furnace to recommend effective solutions to resolve this issue.

ملخص :

يتضمن القسم 5 في مصفاة أرزيو وحدة إزالة الأسفلت بواسطة البروبان، التي تفصل الأسفلتين والراتنجات الثقيلة عن بقايا التقطير التقريغي الناتجة من وحدة التقطير التقريغي لإنتاج زيت معالج خالي من الأسفلت، والذي يصبح بعد المعالجة زيتاً قاعدة يستخدم في إنتاج الزيوت النهائية، بالإضافة إلى إنتاج قار الإزالة بواسطة البروبان (الأسفلت) المستخدم في صناعة البيتومين. ومع ذلك، تؤثر اللزوجة العالية للزيت المستخلص على جودته وأدائه، مما يحد من قدرة الوحدة على العمل بكمولتها الكاملة. يرجع ذلك إلى زيادة إنتاج الأسفلت، ولكن الفرن لا يستطيع تسخين كمية كبيرة من هدف عملنا هو دراسة عملية العمود والمعلمات. الأسفلت بسبب الضغط المطلوب لوقود الغاز، والذي لا يمكن زيادته التشغيلية وأداء الفرن لتوصية بحلول فعالة لحل هذه المشكلة.

Table des matières

Introduction générale :.....	1
------------------------------	---

Chapitre I : Présentation de la raffinerie d'ARZEW RA1Z

I.1	Introduction :.....	4
I.2	Historique :.....	4
I.3	Situation géographique :.....	5
I.4	Objectifs assignés au complexe :	5
I.5	Capacité de production :	6
I.6	Produits chimiques utilisés :	6
I.7	Présentation des installations de RA1Z :.....	7
I.7.1	Département production P1 :	7
I.7.2	Département production P2 :	8
I.7.3	Département production P3 :	9
I.7.4	Département de production P4 :	9
I.7.5	Laboratoire de contrôle :.....	10
I.7.6	Département de sécurité industrielle :	10
I.8	Généralités sur le pétrole brut :.....	12
I.8.1	Introduction :.....	12
I.8.2	Définition de pétrole brut :	12
I.8.3	Composition de pétrole brut :	12
I.8.4	Classification du pétrole brut :.....	14
I.8.5	Le raffinage de pétrole brut :	15

Chapitre II: Généralités sur les huiles lubrifiantes

II.1	Introduction :.....	18
II.2	Historique :.....	18
II.3	Les huiles lubrifiantes :.....	18
II.3.1	Définition :.....	18
II.3.2	Les types d'huiles de base lubrifiantes :.....	19
II.3.3	Les additifs :.....	21
II.3.4	Les rôles des huiles lubrifiantes :	25
II.3.5	Les hydrocarbures contenus dans les huiles minérales :	26
II.3.6	Les propriétés physico-chimiques des huiles lubrifiantes :	28
II.3.7	Classification des huiles lubrifiantes :.....	37
II.4	La chaîne de fabrication des huiles lubrifiantes :.....	40

II.4.1	Introduction :.....	40
II.4.2	Les procédés de fabrication des huiles lubrifiantes :.....	41
II.5	Conclusion :	49

Chapitre III: Description de l'unité de Désasphaltage au propane

III.1	Introduction :	51
III.2	Le but de procédé :.....	51
III.3	Procédé de Désasphaltage au propane :	52
III.3.1	Structure de la charge :	52
III.3.2	Les caractéristiques de solvant :.....	53
III.3.3	Principe de fonctionnement de l'extraction liquide-liquide :	55
III.3.4	Les variables opératoires principaux de procédé :.....	56
III.3.5	Description de l'unité de Désasphaltage :	59
III.3.6	Paramètres opératoires de la colonne d'extraction :.....	62
III.3.7	Description du procédé de l'unité de Désasphaltage au propane (U200) :	63
III.4	Conclusion :	66

Chapitre IV: Généralités sur les fours

IV.1	Introduction :	68
IV.2	Rôles des fours tubulaires dans l'industrie pétrolière :.....	68
IV.2.1	Les fours de réchauffage sans changement de phase :.....	68
IV.2.2	Les fours de réchauffage de liquide avec vaporisation partielle :.....	69
IV.2.3	Les fours de réchauffage avec réaction chimique :.....	69
IV.3	Construction des fours :	69
IV.3.1	Zone de radiation :.....	69
IV.3.2	Zone de convection :	70
IV.4	Les principaux types de fours :.....	70
IV.4.1	Fours à tubes horizontaux :.....	70
IV.4.2	Fours à tubes verticaux (Cylindriques) :	71
IV.5	Critères de choix d'un four :	72
IV.6	Rendement de fours :	73
IV.7	Excès d'air :.....	73
IV.8	La combustion dans le four :	74
IV.8.1	Réaction de combustion :	74
IV.8.2	Chaleur de combustion :.....	74
IV.8.3	Le combustible :.....	75

IV.9	Conclusion :.....	76
------	-------------------	----

Chapitre V: Partie calcul

V.1	Problématique :	78
V.2	Introduction :.....	79
V.3	Bilan de matière :	79
V.3.1	Les paramètres de design :.....	79
V.3.2	Conditions opératoires :.....	80
V.3.3	Composition du solvant (propane C3H8) :.....	80
V.4	Contrôle de quantité et qualité de l'unité 200 :.....	80
V.4.1	Calcul de taux de charge :.....	80
V.4.2	Calcul de taux de solvant :.....	82
V.4.3	Influence de la température de tête et de fond du RDC :	83
V.4.4	Influence de la température de la charge RSV :.....	84
V.4.5	Calcul du rendement de DAO :.....	85
V.4.6	Calcul du rendement de l'asphalte :	86
V.4.7	Les analyses de qualité de la DAO et la charge RSV:	87
V.4.8	Impacte de la viscosité élevé de DAO :.....	89
V.5	Calcul de rendement du four H201 :.....	90
V.5.1	Introduction :.....	90
V.5.2	Etude de la combustion :	90
V.6	Calcul du rendement de four H201 :.....	98
V.6.1	Calcul de la quantité de chaleur totale dégagée :.....	98
V.6.2	Calcul de perte de chaleur par les parois :.....	101
V.6.3	Calcul de perte de chaleur par les fumées :	101
V.6.4	Calcul des pertes totales :	103
V.7	Interprétations des résultats :.....	104
V.8	L'évolution de la température des parois du four en fonction de débit de fuel gaz :	105
	Conclusion générale :.....	107
	Recommandations :.....	108
	Bibliographie :.....	110

Liste des figures

Figure I-1: Plan de situation de la raffinerie d'Arzew	5
Figure I-2: Représentation des capacités de production des différents produits de RA1Z	7
Figure I-3: Le plan de masse de RA1Z.....	11
Figure II-1: les compositions de l'huile lubrifiante finie	19
Figure II-2: les types des huiles de base	21
Figure II-3: les différents additifs ajoutés au l'huile de base	24
Figure II-4: les catégories d'hydrocarbures renfermant dans l'huile de base	28
Figure II-5: Mesure de la viscosité cinématique de l'huile	29
Figure II-6: Mesure de la densité de l'huile "densimètre"	30
Figure II-7: l'appareil de la détermination de la couleur "calorimètre"	31
Figure II-8: Mesure de point d'éclaire de l'huile	34
Figure II-9: Mesure de l'indice d'acidité "titrage acido-basique"	35
Figure II-10: classification SAE des huiles lubrifiantes	38
Figure II-11: image correspond à la zone 5	40
Figure II-12: La distillation sous vide	42
Figure II-13: L'extraction au furfural	45
Figure II-14: schéma simplifié les étapes de déparaffinage au MEC/Toluène	46
Figure II-15: la chaîne de fabrication des huiles lubrifiantes	48
Figure II-16: Image correspond à une l'huile lubrifiante	49
Figure III-1: Désasphaltage au propane.....	52
Figure III-2: La structure chimique des asphaltènes et des résines.....	53
Figure III-3: la structure chimique de propane	54
Figure III-4: les zones de fonctionnement de l'extracteur	56
Figure III-5: schéma technologique de contacteur à disque rotatif	61
Figure III-6: Image correspond à la colonne d'extraction "Désasphaltage au propane"	62
Figure III-7: Circuit de l'unité de Désasphaltage au propane	65
Figure IV-1: Four cabine à tubes horizontaux	71
Figure IV-2: Four cylindrique à tubes verticaux.....	72
Figure IV-I-3: Triangle de feu.....	74
Figure IV-I-4: Image correspond au four H201 "cylindrique"	76
Figure V-1: Evolution de rendement en DAO en fonction du taux de solvant.....	83
Figure V-2 : Evolution de la viscosité de DAO en fonction de viscosité de RSV.....	89
Figure V-3: Evolution de la température des parois en fonction de débit de fuel gaz	105

Liste des tableaux

Tableau I-1: Production annuelle en produits de RA1Z.....	6
Tableau I-2: Produits chimiques utilisés au niveau de RA1Z.....	6
Tableau II-1: les caractéristiques de l'huile de base selon leur tendance.....	28
Tableau II-2: les spécifications des huiles lubrifiantes.....	49
Tableau III-1: Les caractéristiques de propane C3H8	54
Tableau III-2: les variables opératoires de Désasphaltage au propane.....	59
Tableau III-3: Paramètres opératoires design de l'extracteur.....	62
Tableau III-4: Les caractéristiques design des produits obtenus	65
Tableau V-1: Les paramètres design de l'unité de Désasphaltage au propane U200.....	79
Tableau V-2: Les conditions opératoires de procédé de Désasphaltage au propane.....	80
Tableau V-3: Les compositions de propane C3H8	80
Tableau V-4: Le débit de RSV pour le cas design et le cas actuel.....	81
Tableau V-5: Les valeurs de taux de solvant pour le cas design et le cas actuel.....	82
Tableau V-6: Les valeurs de température de fond et de tête au niveau du RDC	84
Tableau V-7: Les valeurs de température de RSV pour le cas design et actuel.....	85
Tableau V-8: Le rendement de DAO pour le cas design et le cas actuel	86
Tableau V-9: Le rendement d'asphalte pour le cas design et le cas actuel.....	87
Tableau V-10: Les spécifications de la DAO et de la charge RSV pour le cas actuel.....	88
Tableau V-11: La composition de fuel gaz pour le cas design	91
Tableau V-12: Composition des fumées pour le cas design	92
Tableau V-13: La composition de fuel gaz pour le cas actuel.....	92
Tableau V-14: Composition des fumées pour le cas actuel.....	93
Tableau V-15: Les résultats des calculs.....	94
Tableau V-16: La composition des fumées	94
Tableau V-17: composition de gaz combustible	95
Tableau V-18: Les résultats des calculs obtenus.....	98
Tableau V-19: Les paramètres de fuel gaz dans le cas design et actuel.....	98
Tableau V-20: Analyse chromatographique de fuel gaz pour le cas design.....	100
Tableau V-21: Analyse chromatographique de fuel gaz pour le cas actuel	100
Tableau V-22: Les résultats des calculs obtenus pour le cas design	102
Tableau V-23: Les résultats des calculs obtenus pour le cas actuel.....	103
Tableau V-24: Le bilan thermique de four H201	104
Tableau V-25: Les paramètres de four H201	104

Liste des abréviations

Sonatrach : société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures.

NAFTEC : un sigle de « l'entreprise nationale de raffinage des produits pétroliers.

GIR : groupe d'intervention de réserve.

JGC : japan gasoline company.

RA1Z : la raffinerie d'Arzew.

AOAC: Association of Official Analytical Chemists.

ACEA : Association des constructeurs Européens d'Automobiles.

AGMA: American Gear Manufactures Association.

DIN: Deutsches Institute fur Normung.

SAE: Society of Automotive Engineers.

API: American Petroleum Institute.

ISO: International Standards Organization.

ASTM: American Society for Testing and Materials.

BRA: brut réduit atmosphérique.

BRI : brut réduit importé.

GPL : gaz pétrolière liquéfié.

MEC : méthyle éthyle cétone.

VI : indice de viscosité.

KOH : hydroxyde de potassium.

IA : indice d'acidité.

BHM : brut de Hassi-Messaoud.

SPO: Spindle Oil.

MVO: Medium viscous oil.

VO: viscous oil.

BS: bright stocks.

RDC: contacteur à disque rotatif.

RSV : résidu sous vide.

DAO : huile désasphaltée (désasphalted oil).

FCC : craquage catalytique en lit fluidisé (fluid catalytic cracking).

CO : monoxyde de carbone.

PCI : pouvoir calorifique inférieur.

PCS : pouvoir calorifique supérieur.

AS : asphalte.

PF : point de fusion.

BP : basse pression.

MP : moyen pression.

HP : haut pression.

H: four.

U: unité.

W: Winter (hiver).

Nomenclature

d	La densité	
Q_{parois}	Pertes par les parois	[Kcal/h]
$Q_{fumées}$	Pertes par les fumées	[Kcal/h]
$Q_{entrée}$	Chaleur fourni	[Kcal/h]
$Q_{absorbée}$	Chaleur absorbée	[Kcal/h]
η (%)	Rendement	[%]
T_{RSV}	Taux de charge	[%]
$T_{solvant}$	Taux de solvant	
Q_{RSV}	Débit d'entrée de résidu sous vide	[m ³ /h]
Q_{DAO}	Débit sortie de l'huile désasphaltée	[m ³ /h]
Q_{AS}	Débit sortie d'asphalte	[m ³ /h]
ρ_{eau}	Masse volumique d'eau	[Kg/Nm ³]
V_{O_2}	Volume d'oxygène	[Nm ³]
M_f	Masse moléculaire des fumées	[Kg/Kmol]
ρ_f	Masse volumique des fumées	[Kg/Nm ³]
ρ_{com}	Masse volumique de combustible	[Kg/Nm ³]
m_f	Masse des fumées	[Kg]
G_f	Débit des fumées	[m ³ /h]
T_{is}	Température des parois	[°C]
T_f	Température des fumées	[°C]
C_P	Chaleur spécifique	[Kcal/Kg]
H_f	Enthalpie des fumées	[°C]
T_e	Température d'entrée de four	[°C]
T_s	Température sortie de four	[Kg]
m_{aie}	Masse d'air	[Kcal/Nm ³]
PCI	pouvoir calorifique inférieur	[m ³ /h]

Introduction générale

Introduction générale

Le pétrole est un mélange complexe d'hydrocarbures présents sur terre sous formes liquide, formes gazeuses ou solides. Le mot pétrole est souvent restreint à la forme liquide, mais il comprend également le gaz naturel et le bitume solide. Le pétrole ou « l'huile de roche » dérive du latine *petra* (roche ou pierre) et *oleum* (l'huile) et à été la première utilisé en 1556 par Georg Bauer.

Le pétrole brut est considéré comme le principale promoteur du développement industriel et économique, et constitue une source d'énergie » indispensable dans la vie quotidienne. Il permet la fabrication des produits valorisants comme les lubrifiants, les bitumes et les produits pétrochimiques dont la variété ne cesse d'augmenter (matières plastiques, solvants, détergents...). Mis à part l'utilisation du pétrole comme source d'énergie et de chaleur.

Selon le type de brut et la demande du marché, les raffineries peuvent raffiner le brut en différents types de produits pétroliers. Vu de leur grande importance dans le trafic terrestre, aérien et maritime, les carburants sont les produits les plus recherchés à partir du traitement de pétrole brut. Les résidus pétroliers (moins volatiles) renferment des hydrocarbures lourds plus intéressants, sont utilisés pour produire du bitume, du goudron et des huiles lubrifiantes.

Le grand nombre d'huiles lubrifiantes naturelles et de spécialités vendues aujourd'hui sont produites en mélangeant des huiles de bases et d'additifs. Les huiles de bases sont préparées à partir des huiles brutes obtenus par la distillation sous vide, et qui subit à des traitements spécifique pour répondre aux qualifications souhaitées. Les additifs sont des produits chimiques utilisés pour donner aux l'huiles de base les caractéristiques souhaitables qui leur manquent ou pour améliorer leurs propriétés.

Parmi les cinq raffineries algériennes, les huiles lubrifiantes sont principalement obtenues seulement au niveau la de la raffinerie d'Arzew. Les huiles lubrifiantes produites par la raffinerie d'Arzew sont comparables du point de vu qualitatif aux meilleures huiles produites dans le monde.

L'unité de Désasphaltage au propane de la zone 5 des lubrifiants de la raffinerie d'Arzew produit des huiles de base lubrifiantes en extrayant les asphaltées et les résines des résidus de la colonne de distillation sous vide en utilisant comme solvant le propane pour la précipitation des asphaltènes contenues dans le résidu.

Ce traitement permet l'obtention d'une l'huile de base qui rentre dans la formulation de plusieurs grades d'huiles commerciales, et un asphalte qui est utilisé comme charge pour la fabrication des bitumes oxydés et routiers (zone 10) en le mélangeant avec l'extrait des aromatiques.

Dernièrement l'unité de Désasphaltage au propane de la Zone 05 produit une l'huile désasphaltée DAO à haute viscosité aussi nous avons constaté une perte de rendement en

DAO et une augmentation De rendement en asphalte qui est envoyé vers la zone de fabrication des bitume, avec fluctuation de son point de ramollissement. Ce produit (asphalte) est revalorisé et introduit, après une étude, dans la fabrication du bitume dans le but d'augmenter la quantité de production en asphalte, malheureusement l'instabilité de ses spécifications à causer des perturbations sur le procédé de fabrication de bitumes.

D'autre part, l'asphalte+propane est dirigé vers le four H201 afin de le préchauffé pour permettre la séparation et la récupération du solvant. Mais le four actuellement ne supporte pas cette grande quantité d'asphalte, alors afin de remédier ce problème, le taux de charge de l'unité aurait dû être réduite (75 à 85 %).

Le but de la présente étude est de trouver les causes qui influe sur la qualité et rendement de DAO et ainsi l'asphalte et proposer des solutions permettant de fonctionner l'unité avec un taux de charge maximum.

Afin de réaliser ce travail, nous avons divisé ce mémoire en cinq chapitres, à savoir :

❖ **Partie théorique :**

- Présentation de la raffinerie d'Arzew ;
- Généralités sur les huiles lubrifiantes et la chaîne de fabrication des huiles ;
- Description de l'unité de Désasphaltage au propane ;
- Généralités sur les fours ;

❖ **Partie pratique :**

Etude de performance de l'unité 200, comprennent :

- Vérification du rendement de l'unité de Désasphaltage, ainsi la qualité de l'huile Désasphaltée DAO pour le cas design et actuel ;
- Vérification du rendement du four H201 pour le cas design et actuel ;

Chapitre I
Présentation de la raffinerie
d'ARZEW

I.1 Introduction :

En Algérie, l'industrie de raffinage est née avec la découverte du pétrole en juin 1956 par la société Française SN REPAL (Elf) à Hassi-Messaoud. La première unité fut construite sur les lieux même de la découverte qui a été orientée vers la satisfaction des besoins excessifs des sociétés opérantes dans le cadre de la recherche et s'est attaché à l'idée d'accéder au développement économique en avantageant la mise en place d'une industrie pétrolier par la transformation systématique de ses hydrocarbures. Actuellement l'Algérie possède six raffineries d'une totale capacité de production annuelle de 30,695 millions de tonnes, se trouvant dans les villes de : Arzew, Alger, Skikda, Adrar et Hassi-Messaoud. (1)

La raffinerie d'Arzew par sa diversité de production se classe au premier rang des complexes industriels édifiés sur le territoire national. Elle est le seul complexe qui fabrique les lubrifiants par leurs différents grades pour satisfaire le marché national et l'international.

Le bitume est le dernier produit issu de la distillation du pétrole, qui est apporté une très grande contribution aux immenses progrès de la technique de revêtement des routes. (2)

I.2 Historique :

La raffinerie d'Arzew a été réalisée dans le cadre du premier plan quinquennal entre 1970 et 1973. Troisième raffinerie du pays après celles d'Alger et de Hassi Messaoud. Elle a été conçue pour traiter :

- ❖ Le pétrole brut de Hassi Messaoud ;
- ❖ Le brut réduit importé pour la production des bitumes ;

La construction du complexe a été confiée à la société japonaise japan gasoline 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. (1)

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

(3)

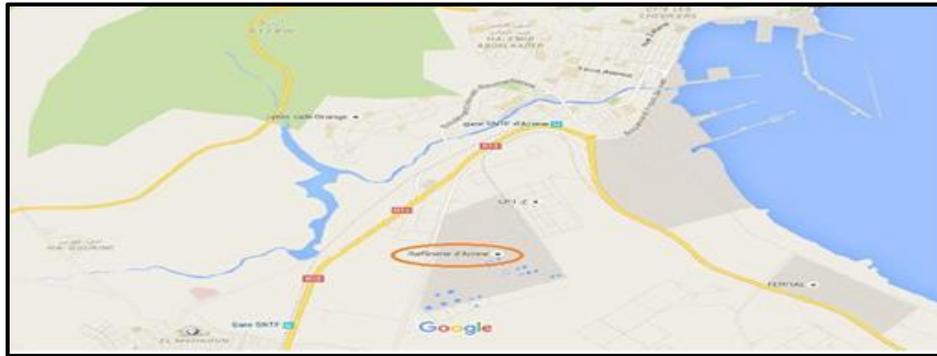


Figure I-1: Plan de situation de la raffinerie d'Arzew (3)

I.4 Objectifs assignés au complexe :

La raffinerie d'Arzew a été conçue pour répondre aux impératifs suivants :

- Traiter le brut de Hassi Messaoud et le brut importé ;
- Satisfaire à la consommation croissante du marché national en carburants ;
- Fabriquer des produits stratégiques tels que les lubrifiants et les bitumes ;
- Exportation des produits excédentaires (Naphta, Kérosène, Fiouls).
- Maximiser la valeur des excédents exportables et atteindre les exigences du marché Européen en qualité de produits.
- Optimiser les consommations en additifs et produits chimiques. (4)

I.5 Capacité de production :

Tableau I-1: Production annuelle en produits de RA1Z (4)

Le produit	Capacité annuelle en Tonnes	
	Le cas design	Le cas réel : 2022
Propane	15000	14947,719
Butane	70000	78468,736
Essence super	490000	418737,137
Naphta	160000	666999,31
Kérosène	120000	96204,969
Gasoil	980000	1526291,966
Fuel	590000	781239,312
Huile de base	170000	38842,861
Huile finie	150000	57621,292
Graisses	70000	239,580
Bitumes routiers	120000	93432,325
Bitumes oxydes	20000	16415,136

I.6 Produits chimiques utilisés :

Les produits chimiques sont essentiels et importants aux différents process des unités . A savoir :

Tableau I-2: Produits chimiques utilisés au niveau de RA1Z (4)

Produit chimique	Quantité (Kg)	Nature du produit	Unités
Furfural	300.000	Solvant	U 23-300
MEC	29.000	Solvant	U 24-400
Toluène	186.000	Solvant	U 25-500
Acide sulfurique H_2SO_4	13.500	Neutralisant	Zone 3-19
La soude NaOH	18.000	Neutralisant	Zone 3-19-4
Sulfite de sodium Na_2SO_3	5	Inhibiteur de corrosion	Zone 3-19
Phosphate de sodium Na_3PO_4	6	Neutralisant	Zone 3-19
La javel NaClO	3000	Désinfectant	Zone 3-19

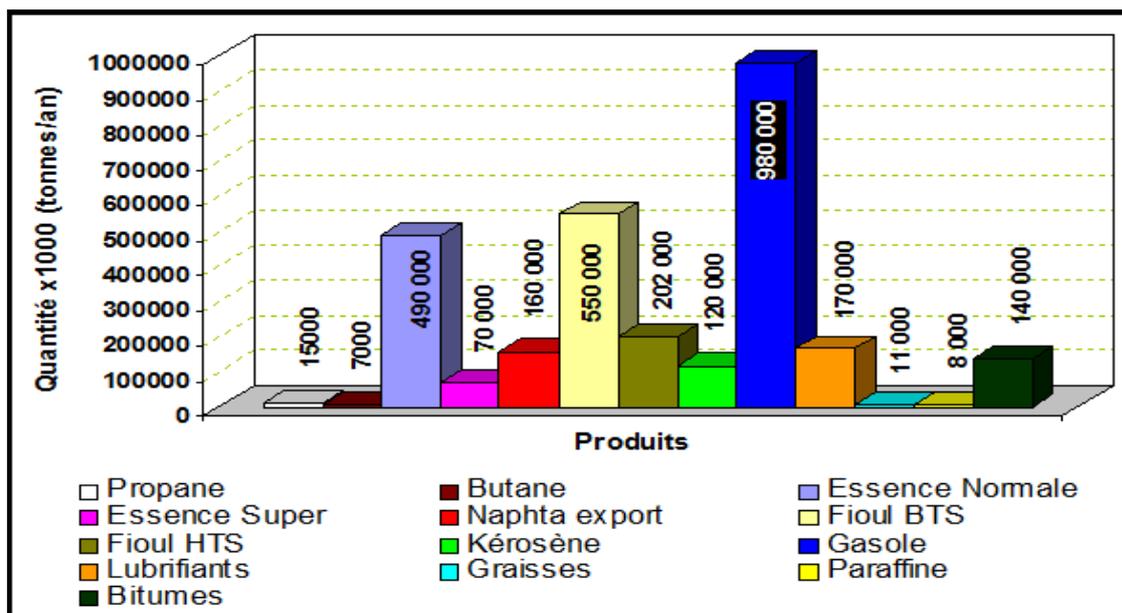


Figure I-2: Représentation des capacités de production des différents produits de RA1Z (1)

I.7 Présentation des installations de RA1Z :

La raffinerie d'Arzew comprend quatre départements de production le P 1, P2, P3 et P4, chaque département est constitué de plusieurs zones ayant des activités spécifiques.

I.7.1 Département production P1 :

Zone 3 : Utilités : Elle comprend les unités suivantes :

- **Unité 31 :** Production de vapeur et d'électricité ;
- **Unité 32 :** Production de l'eau distillée ;
- **Unité 33 :** Circuit d'eau de refroidissement ;
- **Unité 34 :** Station pompage Eau ;
- **Unité 35 :** Récupération et distribution du gaz combustible ;
- **Unité 36 :** Unité d'air comprimé ;
- **Unité 67 :** Réseau Eau incendie ; (5)

Zone 4 : Carburants : Cette zone comprend six (06) unités :

- **Unité 11 :** Unité de distillation atmosphérique « Topping » pour la production des carburants ;
- **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 ; (5)

Zone 7 : Lubrifiants : Cette zone a pour tâche de produire les huiles de base à partir du brut réduit atmosphérique (BRA) provenant de la zone 4, elle comprend :

- Unité 21 : Distillation sous vide ;
- Unité 22 : Désasphaltage au propane ;
- Unité 23 : Extraction des aromatique au furfural ;
- Unité 24 : Déparaffinage au MEK-Toluène ;
- Unité 25 : Hydrofinishing ; (5)

Zone 10 : Bitumes

- Unité 14 : Bitumes routiers ;
- Unité 15 : Bitumes Oxydé ;
- Unité 45 : Conditionnement et stockage des bitumes ; (5)

I.7.2 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 1982. Il comprend trois Zones:

Zone 19 : Utilités : Cette unité entre dans le plan de l'extension de la raffinerie, elle a les mêmes tâches que la zone3 Elle comprend les unités suivantes :

- **U1100** : Production de la vapeur ;
- **U1200** : Production de l'électricité ;
- **U1300** : Tour de refroidissement ;
- **U1400** : Fuel gaz ;
- **U1500** : Unité d'air comprimé ;
- **U1600** : Production de l'eau distillée ;
- **U1700** : La torche ;
- **U1800** : Traitement des rejets liquides du département P2 ; (5)

Zone 5 : Production des huiles de base :

- **Unité 100** : Distillation sous vide ;
- **Unité 200** : Désasphaltage au propane ;
- **Unité 300** : Extraction des aromatiques au furfural ;
- **Unité 160** : Traitement des eaux acides ;
- **Unité 400** : Déparaffinage au MEK-Toluène ;
- **Unité 500** : Hydrofinishing ;
- **Unité 600** : Hydrotraitement de la paraffine ; (5)

I.7.3 Département production P3 :**Zone 6 : Mélange et conditionnement des huiles finies :**

- **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 ; (5)

I.7.4 Département de production P4 :

- **Zones 8A, 8B** : Stockage intermédiaire des huiles de base ;
- **Zone 9** : Stockage du brut et résidus ;
- **Zones 11, 12,13** : Stockage du pétrole brut provenant des bacs de stockage de RTO;
- **Zones 16:** Stockage du NAPHTA et de l'eau brut pour incendie ;
- **Zones 17:** Stockage du kérosène et de l'essence de la première distillation (Naphta lourd) ;
- **Zones 18** : Stockage du fuel pour mélange ;
- **Zone 22 et 23** : Stockage des carburants ;
- **Zones 24** : Stockage du gas-oil ;
- **Zones 25** : Stockage du fuel ;
- **Zones 26** : Stockage du GPL (gaz de pétrole liquéfié) ;
- **Zones 29** : Stockage du BRI ;
- **Zones 14** : Administration générale ;

- **Zones 15** : Laboratoire ;
- **Zones 20** : Réception et approvisionnement des produits chimiques et pièce de Recharges ;
- **Zones 27** : Station de traitement des rejets liquides ;
- **Zones 28** : Zone d'expédition : essences, gasoil, kérosène et les GPL ; (5)

I.7.5 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. Le laboratoire contrôle aussi la qualité des eaux, les rejets et procédé aux analyses des différents échantillons spéciaux. (6)

I.7.6 Département de sécurité industrielle :

Etant donné les dangers, et les risques continuels qui peuvent se présenter dans une raffinerie de pétrole tel qu'explosions, incendies, intoxications, et électrocution. Le rôle du département de sécurité dans ce contexte est primordial pour la préservation du patrimoine humain et matériel. Il comporte 3 services : (7)

I.7.6.1 Service prévention :

Le 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). (7)

I.7.6.2 Service intervention :

Le 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, l'exécution du planning de sauvetage journalier et du programme d'exercices des plans d'attaques contre les incendies. (7)

I.7.6.3 Service protection de l'environnement :

Surveillance et contrôle l'activité environnementale au sein du complexe. (7)



Figure I-3: Le plan de masse de RA1Z (4)

I.8 Généralités sur le pétrole brut :

I.8.1 Introduction :

Le pétrole brut est le terme utilisé pour décrire une grande variété de fluides riches en hydrocarbures qui se sont accumulés dans les réservoirs souterrains et qui présentent des propriétés considérablement simples.

Le raffinage du pétrole débute par la distillation, ou fractionnement, du pétrole brut en vue de le séparer en différents groupes d'hydrocarbures. Les produits obtenus dépendent directement des caractéristiques du brut traité. On transforme ensuite la plupart de ces produits de distillation en produits plus facilement utilisables, en modifiant leurs structures physique et moléculaire par craquage, reformage et

par d'autres procédés de conversion, puis on soumet les produits obtenus à divers procédés de traitement et de séparation tels que l'extraction, l'hydrocraquage et l'adoucissement pour aboutir aux produits finis. (8)

I.8.2 Définition de pétrole brut :

Le pétrole brut est un liquide noir épais et visqueux composés d'hydrocarbures, que l'on trouve naturellement sous terre ou en mer. Il est formé par la décomposition de matière organique (comme des plantes et des animaux) au fil du temps et de la pression géologique. Le pétrole brut est un combustible fossile qui est raffiné pour produire divers produits pétroliers tels que l'essence, le diesel, le kérosène et fioul domestique, ainsi que des produits non énergétiques comme les lubrifiants et les plastiques. Le pétrole brut est une ressource naturelle non renouvelable qui est utilisée pour alimenter les transports, les industries et la production d'électricité dans le monde entier. (8)

I.8.3 Composition de pétrole brut :

Le pétrole brut est composé principalement d'hydrocarbures, c'est-à-dire des composés organique constitués d'atomes de carbone (83 à 87%° et d'hydrogène (11 à 14%). les différents types d'hydrocarbures présents dans le pétrole brut ont des structures moléculaires et des propriétés physique différentes, ce qui donne au pétrole brut sa composition et ses propriétés uniques. (8)

I.8.3.1 Alcanes (hydrocarbures paraffiniques) :

Ce sont les hydrocarbures les plus simples, constitués d'une chaîne carbonée linéaire ou ramifiée avec des atomes d'hydrogène liés à chaque carbone de formule brut C_nH_{2n+2} . (9)

C_1 à C_4 : sont des gaz Qui peuvent être utilisés comme combustibles ménagers et industriels ou comme matière première pour la pétrochimie (pour l'obtention des alcools gras....etc.). C_5 à C_{16} : sont des liquides Dans les conditions normales de pression et de température, ils font partie intégrante de l'essence, kérosène et de gasoil, mais ils peuvent être utilisés comme matière première pour la pétrochimie pour l'obtention des alcools gras et des acides gras et des détergents.

C_{17} Et plus : sont Des solides dans la température ambiante, Ils font partie intégrante des paraffines et des résines. (9)

I.8.3.2 Hydrocarbures naphténiques :

Ce sont des hydrocarbures cycliques saturés de formule brute C_nH_{2n} . Le pétrole à base naphténiq ue est utilisé pour l'obtention des huiles car ils possèdent un grand indice de viscosité, mais aussi ce sont des bons composants des carburéacteurs à cause de leur grand pouvoir calorifique.

Ils ont des températures d'ébullition et des masses volumiques supérieurs à celles des alcanes à même nombre d'atomes de carbone. Dans les pétroles bruts, les cycles les plus fréquemment rencontrés sont ceux à cinq ou six atomes de carbone. Dans ces cycles, chaque atome d'hydrogène peut être substitué par une chaîne paraffiniques droite ou ramifiée. (9)

I.8.3.3 Hydrocarbures aromatiques :

Sont des hydrocarbures cycliques non saturés de formule brute C_nH_n , contiennent un anneau de six atomes de carbone liés par des liaisons simples et doubles alternées, appelé cycle aromatique.

Le premier nombre de cette famille est le benzène. Le benzène est désiré dans les essences car il améliore son indice d'octane. Les hydrocarbures aromatiques à plus grande masse moléculaire se trouvent dans le kérosène et le gasoil et la majeure partie dans les huiles. (9)

- En plus des hydrocarbures, le pétrole brut peut contenir des impuretés telles que :

I.8.3.4 Les composés sulfurés :

Leurs teneurs varient largement d'un pétrole à un autre. Ils diminuent l'indice d'octane des essences et ils forment des gommages dans les essences, on les divise généralement en trois groupes :

- **Groupe 01** : Les composés sulfurés à base d'acide (H_2S : acide sulfurés, RSH mercaptans), ils peuvent se dissoudre dans l'eau et donner l'acide sulfurique H_2SO_4 qui a des propriétés acides, corrosive et odeur désagréable ;
- **Groupe 02** : Les sulfures et les polysulfures ($R-S-R'$ sulfures, $R-SS-R'$ polysulfures), avec l'augmentation de température il y a formation de H_2S et $R-SH$;
- **Groupe 03** : Les composés sulfurés à grande masse moléculaire, renferme les composés hétérocycliques, à savoir thiophène (1) et thiophène (2), instables à température élevée pour donner les mercaptans et H_2S . se trouvent principalement dans les mazouts et les goudrons ; (9)

I.8.3.5 Les composés azotés :

Leurs teneur varie de 0.02-2.5%, elle augmente avec l'augmentation de la température d'ébullition des fractions, on le retrouve sous forme de quinoléine et pyridine.

Ils sont indésirables dans le pétrole et les produits pétroliers, ils sont toxiques pour les catalyseurs. (9)

I.8.3.6 Les composés oxygénés:

Ce sont des homologues de phénol et des acides naphthéniques $R-COOH$ qui se concentrent principalement dans les gazoils et les huiles. Les acides naphthéniques forment un bon additif pour les huiles (qui augmente la détergence). (9)

I.8.3.7 Les composées métalliques :

Ils existent sous forme de sels dissous dans l'eau mélangée avec le pétrole brut. Les métaux sont des poisons permanents pour les catalyseurs industriels. Comprennent : le plomb, le nickel, le mercure etc. (9)

I.8.4 Classification du pétrole brut :

La classification est basée sur les méthodes de traitement de pétrole brut. On distingue trois méthodes :

I.8.4.1 Méthode industrielle :

Où le pétrole brut est classé selon leur densité. A savoir :

- Pétrole Léger avec $\rho_{15}^{15} < 0,828$;
- Pétrole Moyen avec $0,828 < \rho_{15}^{15} < 0,884$;

- Pétrole lourd avec $\rho_{15}^{15} > 0,885$; (9)

I.8.4.2 Méthode chimique :

On trouve :

- Pétrole paraffiniques: (USA) ;
- Pétrole Naphténique: (république d'Azerbaïdjan) ;
- Pétrole paraffino-Naphténique: (Algérie) ;
- Pétrole Aromatique: (Indonésie) ;

I.8.4.3 Méthode technologique :

Teneur en Soufre dans le pétrole brut et dans les fractions pétrolières:

- Pétrole peu sulfureux ne dépasse pas 0.5% ;
- Pétrole sulfureux comprise entre 0.5 -2 % ;
- Pétrole très sulfureux > 2 % ; (9)

Teneur en fractions Claires " PF = 350 C°:

- Teneur élevée en fraction à PF= 350 C°: $> 45\%$ (pétrole léger);
- Teneur moyenne en fraction à PF= 350 C°: entre 30 et 45% (pétrole moyen);
- Teneur faible en fraction à PF= 350 C°: $< 30\%$ (pétrole lourd) ;

En fonction de La teneur des paraffines: En distingue trois espèces de pétrole:

- Pétrole peu paraffiniques < 1.5 %.
- Pétrole paraffiniques 1.5 – 6 %.
- Pétrole très paraffiniques > 6 %.

La méthode technologique permet de choisir le schéma adéquat de traitement. (9)

I.8.5 Le raffinage de pétrole brut :

Le pétrole brut est une matière première complexe qui contient des hydrocarbures, des composés organiques et des impuretés. Le raffinage permet de séparer ces différentes composantes pour obtenir des produits plus purs et plus utiles.

Le processus de raffinage implique plusieurs étapes, chacune conçue pour séparer les différentes fractions du pétrole brut en fonction de leurs propriétés physique et chimiques. La première étape est la distillation atmosphérique qui consiste à chauffer le pétrole dans une tour de distillation pour le séparer en différentes fractions en fonction de leur point d'ébullition. Les fractions légères comme l'essence et GPL sont récupérées en haut de la tour,

tandis que les fractions les plus lourdes comme le fioul et le bitume sont récupérées en bas. Les fractions lourdes peuvent être traitées pour produire des produits tels que le gazole, diesel et le kérosène.

Les produits pétroliers peuvent être soumis à d'autres processus de traitement pour améliorer leur qualité et leur pureté, comme la désulfuration pour éliminer les composés soufrés et la reformage pour augmenter l'indice d'octane de l'essence. (10)

I.8.5.1 Les principaux produits de raffinage du pétrole brut :

Le raffinage du pétrole brut produit une variété de produits pétroliers qui sont utilisés dans de nombreux secteurs de l'industrie et de la vie quotidienne. A savoir :

I.8.5.1.1 Essence :

Egalement connue sous le nom de carburant sans plomb, est un produit pétrolière principalement utilisé comme carburant pour les véhicules à moteur. La caractéristique la plus importante de l'essence est l'indice d'octane (propriétés antidétonantes). (10)

I.8.5.1.2 Diesel :

Le diesel est un carburant utilisé dans les moteurs diesel, tels que les camions et les bateaux. Il est également utilisé dans les générateurs électriques et les chauffages domestiques. (10)

I.8.5.1.3 Carburant d'aviation :

Egalement connu sous le nom de kérosène utilisé pour alimenter les avions à réaction. (10)

I.8.5.1.4 Gaz de pétrole liquéfié (GPL) :

Le GPL est utilisé comme carburant pour les véhicules, ainsi que pour le chauffage. (10)

I.8.5.1.5 Bitume :

Egalement connu sous le nom de goudron, est utilisé pour la construction de routes et de toits. (10)

I.8.5.1.6 Huiles lubrifiantes :

Les huiles lubrifiantes sont utilisées pour la lubrification des moteurs et des machines pour éviter leur détérioration. (10)

Chapitre II

*Généralités sur les huiles
lubrifiantes*

II.1 Introduction :

Le contact métallique entre deux pièces mobiles accroît le frottement, engendre de la chaleur et conduit à une usure extrême ce qui résulte le grippage et une détérioration complète des machines. Les deux problèmes des pièces mobiles sont le contact des surfaces métalliques et l'humidité. Le premier entraîne le grippage et l'usure des pièces lorsqu'elles sont en mouvement, et le second produit la corrosion des surfaces non protégées ce qui rend la machine inutilisable. Alors afin de réduire le frottement, l'usure et pour une protection durable contre tout agent extérieur pour toute machine mécanique ou thermique l'utilisation des lubrifiants était et reste une nécessité primordiale.

Alors, des développements remarquables ont été réalisés dans le domaine de raffinage en combinant la composition chimique des huiles, les propriétés physico-chimique et rhéologiques et les différentes applications industrielles de lubrification d'isolation, de transmission, de freinage etc.

II.2 Historique :

L'utilisation d'huiles lubrifiantes remonte à l'antiquité, où les Egyptiens utilisaient des huiles végétales pour lubrifier les machines et également les Romains. Au moyen âge, les huiles animales, telles que l'huile de baleine et l'huile de poisson, ont commencé à être utilisées comme lubrifiants. Cependant leur utilisation était limitée car elles étaient coûteuses. Au XIXe siècle, la production des huiles lubrifiantes s'est industrialisée et devenue une activité importante. Au XXe siècle, l'utilisation des huiles synthétiques a commencé à devenir populaire. Les huiles synthétiques sont produites à partir de produits chimiques plutôt que de source naturelles et ont des propriétés de lubrification supérieures à celles des huiles minérales.

De nos jours, les huiles lubrifiantes sont largement utilisées dans toutes sortes d'applications industrielles et automobiles.

II.3 Les huiles lubrifiantes :

II.3.1 Définition :

Un lubrifiant est une fraction pétrolière lourde et onctueuse, et se distingue des autres fractions de pétrole brut par son point d'ébullition élevé (>340°C).

Les huiles lubrifiantes sont composées de 70 à 90 % de distillats d'hydrocarbures de pétrole avec 10 à 30 % d'additifs pour conférer des propriétés spécifiques à l'huile. Le distillat d'hydrocarbures pétroliers est généralement constitué de composés paraffiniques ou naphthéniques. (2)

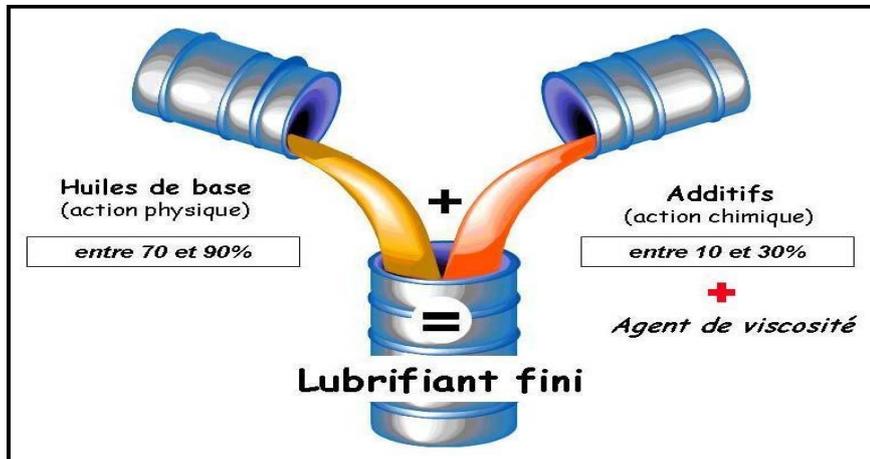


Figure II-1: les compositions de l'huile lubrifiante finie (12)

II.3.2 Les types d'huiles de base lubrifiantes :

Nous distinguons trois groupes d'huiles de base lubrifiantes :

II.3.2.1 Huile minérale :

L'huile minérale est obtenue par distillation et raffinage du pétrole brut. Ses propriétés dépendent largement de la qualité et de la consistance du pétrole brut à partir duquel il est raffiné et du processus de raffinage lui-même.

L'huile de base minérale est un mélange de fractions de distillation raffinées résultant de la distillation sous vide. Il se compose d'hydrocarbures et de traces d'hydrocarbures contenant du soufre, de l'oxygène et de l'azote. La fraction de distillation est encore purifiée par extraction et en séparant les cires. Le processus de purification peut être complété par une hydro finition, qui implique un contact avec de l'hydrogène à haute pression et température, en présence d'un catalyseur. (11)

II.3.2.1.1 Raffinage au solvant :

- Bases à tendance paraffiniques ;
- Bases à tendance naphthéniques ;
- Bases à tendance aromatiques ;

II.3.2.1.2 Par conversion à l'hydrogène :

- **Groupe I :** (soufre $> 0,03$ %, (VI) = 80 à 100) ; Fabriqué par extraction au solvant, déparaffinage au solvant ou catalytique et procédés d'hydro finition.
- **Groupe II :** (soufre $< 0,03$ %, (VI) = 120 à 130) ; Fabriqué par hydrocraquage et déparaffinage au solvant ou catalytique. L'huile de base du groupe II a des propriétés anti-oxydants supérieures puisque pratiquement toutes les molécules d'hydrocarbures sont saturées. Il a une couleur blanc d'eau.
- **Groupe III :** (soufre $< 0,03$ %, (VI) = 140 à 150) ; Fabriqué par des procédés spéciaux tels que l'hydro isomérisation. Peut être fabriqué à partir d'huile de base ou de cire issue du processus de déparaffinage. (11)

II.3.2.1.3 Huiles de base groupe II :

Les huiles de base de groupe II sont des huiles lubrifiantes de haute qualité qui offrent de bonnes performances dans une large gamme d'applications. Elles ont une viscosité plus élevée, une teneur en soufre et en azote plus faible que les huiles de base de groupe I et offrent une meilleure stabilité thermique et une meilleure résistance à l'oxydation.

Les huiles de base de groupe II sont produites à partir d'huiles de base raffinées par hydrocraquage. (11)

II.3.2.1.4 Huiles de base groupe III :

L'huile de base de groupe III est une l'huile de base synthétique hautement raffinée qui est fabriquée à partir d'huiles de base de groupe II et qui est soumise à un processus de raffinage encore plus poussé.

Les huiles de base de groupe III sont considérées comme supérieures aux huiles de base de groupe II en termes de performances et de propriétés. Elles ont une meilleure stabilité thermique, une meilleure résistance à la formation de dépôts. (11)

II.3.2.2 Huile synthétique :

Les propriétés de l'huile synthétique sont entièrement déterminées par son procédé de fabrication. Les huiles synthétiques sont exemptes d'impuretés, offrent généralement une

indice de viscosité plus élevée et une meilleure stabilité à l'oxydation que les huiles de base minérales, ce qui se traduit par une performance plus durable (11). Comprennent :

- Polyalpha-oléfine (PAO) ;
- Esters synthétiques ;
- Polyalkylène glycols (PAG) ;
- Esters de phosphate ;
- Esters silicatés ;

II.3.2.3 Huile semi-synthétique :

Les huiles semi-synthétiques sont formulées en mélangeant des huiles de base minérales et synthétiques, ce qui leur confère certains des avantages des huiles entièrement synthétiques. (11)

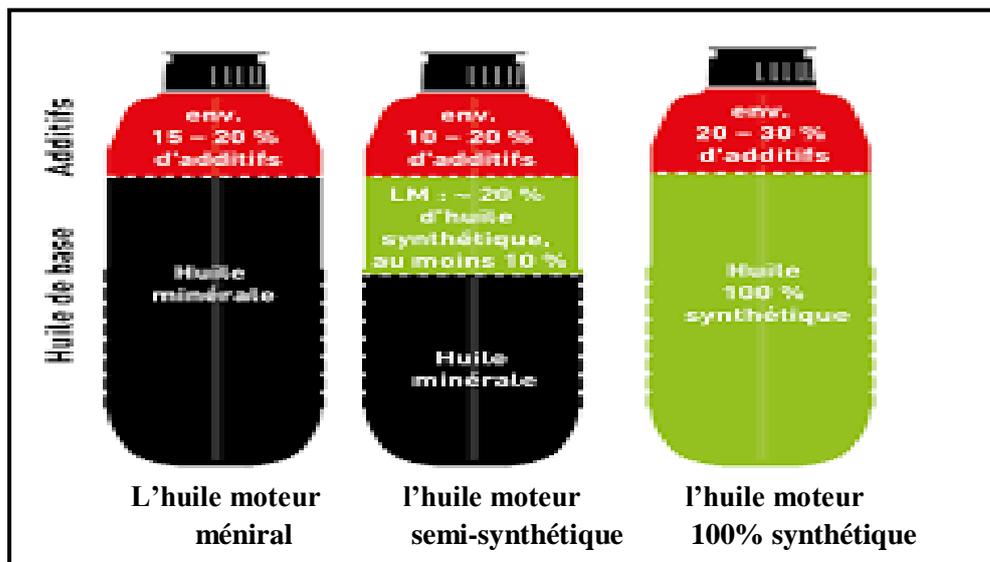


Figure II-2: les types des huiles de base (13)

II.3.3 Les additifs :

La production des huiles lubrifiantes ne peut pas donner toutes les qualités désirables assurant pleinement le fonctionnement normal des moteurs et des machines, alors il est nécessaire d'ajouter à l'huile des produits spéciaux appelés additifs.

Les additifs d'huile de lubrification sont des substances actives synthétiques et sont souvent ajoutés à l'huile de base afin de prolonger la durée de vie soit du moteur soit de

l'huile, interdire la dégradation rapide de l'huile usagée, et améliorer sa résistance à l'oxydation et à la corrosion (14). Les additifs généralement utilisés sont :

II.3.3.1 Les anti-oxydants :

La stabilité de l'huile est toujours menacée par l'oxydation au cours de l'exploitation. Alors, les antioxydants éliminent ou ralentissent le phénomène d'oxydation des huiles lubrifiantes, comprennent :

- Les ditertiobutylphenols ;
- Les phénols substitués ;
- Les amines du type phénylnaphtyl amine ; (14)

II.3.3.2 Les anti-corrosifs :

Un objet métallique, lorsqu'il est exposé à l'oxygène atmosphérique, l'humidité et certains oxydes formés lors de processus de combustion peut être facilement attaqué par la corrosion en provoquant son détérioration et réduit notamment son durée de vie, alors des coûts de maintenance élevés.

Alors, les anti-corrosifs permettent de former sur la surface du métal un film empêchant le contact des acides avec le métal et le protéger de la corrosion. Nous utilisons principalement comme inhibiteurs de corrosion :

- Les sulfonâtes alcalins ;
- Les tributylphosphites ;
- Les triphénylphosphite ; (14)

II.3.3.3 Les détergents et les dispersants :

Les détergents et les dispersants sont des tensio-actifs solubles en milieu organique formant initialement des micelles au sein du milieu huileux et sont constitués d'une partie hydrocarbonée oléophile et d'une partie hydrophile.

Les détergents possèdent des propriétés nettoyant vis-à-vis d'une surface solide mouillée, et de maintenir le circuit de distribution. Elles se caractérisent par un pH basique ou neutre pour prévenir de la formation des dépôts à chaud sur les surfaces chaudes. Grâce à leur alcalinité, ils peuvent neutraliser également des produits acides, qui se forment du fait de la combustion de l'huile. Nous distinguons deux classes A savoir :

- Les sels de sodium d'acide sulfonique de composés alkyl aromatique dont la partie hydrophile est un sel métallique (calcium, magnésium) ;
- Les alkylphénols transformés en sels de calcium et les alkylphénols-sulfures ;

Les dispersants sont des adjuvants, qui ont les propriétés de maintenir en suspension des particules solides dans l'huile, Ils évitent ainsi le risque de dépôt dans les parties froides du moteur. Ils maintiennent en suspension dans l'huile des impuretés liquides et insolubles dans l'huile, qui se forment principalement pendant la phase d'échauffement dans le moteur. Les additifs empêchent l'agglutinement (agglomération) des particules de poussière et donc la formation de boue. (14)

II.3.3.4 Les anti-gels :

L'huile lubrifiant perd sa mobilité à basse température, soit par l'apparition des hydrocarbures solides formants des cristaux soit par une brusque élévation de viscosité.

Ils permettent l'écoulement de l'huile même à basses températures par retardement de la formation de cristaux de paraffine. Les petits cristaux de paraffine qui se forment lors du refroidissement de l'huile sont enveloppés par l'additif et ne peuvent pas se fusionner, ce qui fait que l'huile reste fluide plus longtemps. Ils agissent sans doute par absorption en diminuant la taille des cristaux de paraffine, ou en modifiant la forme cristalline qui évolue vers une structure en aiguilles et en réduisant l'adhésion entre les cristaux. Comprennent :

Les polyméthacrylates, les copolymères maléate-styrène, et les polyesters acétate de vinyle-fumarate. (14)

II.3.3.5 Les anti-usures et les extrêmes pressions :

Le film formé par l'huile lubrifiant peut être détruit dans les conditions de fortes charges, de grandes vitesses et de hautes températures ce qui rend le contact possible et provoque l'usure de métal.

Alors, les additives anti-usures et extrêmes pressions permettent de former un lubrifiant résistant aux pressions énormes existés entre les surfaces métalliques en contact. Comprennent :

Les dithiophosphates d'alkyl-zinc et les dérivés du phosphore. (14)

II.3.3.6 Les anti-mousses :

Les lubrifiants sont agités, ce qui provoque la formation de bulles d'air et de mousse, un moussage excessif de l'huile entraîne des défauts de lubrification et une oxydation précoce.

Le rôle des additifs anti-mousses, est la réduction la tension de surface et les bulles de lubrifiant éclatent lorsqu'elles atteignent la surface du bain d'huile. Nous utilisons les méthylsiloxanes et les polyacrylates à bas poids moléculaire. (14)

II.3.3.7 Améliorants de l'indice de viscosité :

Classe d'additifs polymères, introduisent à faible concentration dans une base lubrifiante entraînent une augmentation relative de la viscosité plus importante à haute qu'à basse température et qui, par conséquent augmentent l'indice de viscosité du lubrifiant sans modifier défavorablement les autres propriétés essentielles. Nous utilisons deux grandes familles d'additifs de viscosité :

Les polymères hydrocarbonés (les polyisobutylènes) et les polymères à fonction esters (les copolymetacrylates). (14)

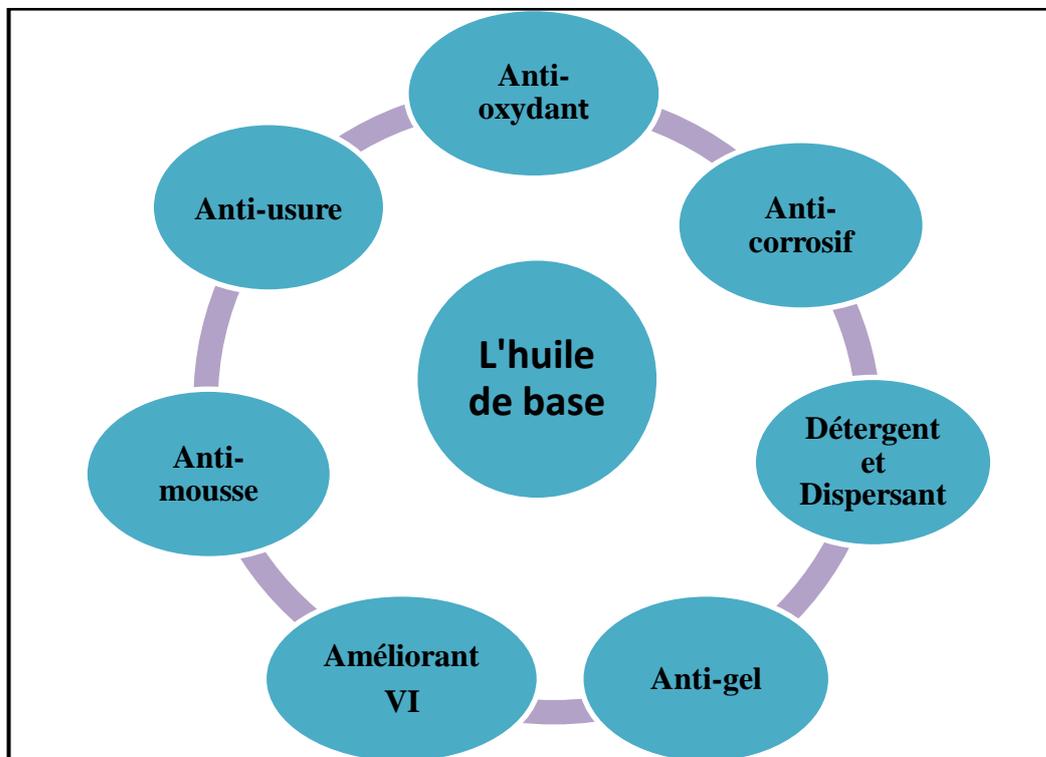


Figure II-3: les différents additifs ajoutés au l'huile de base

L'efficacité des additifs aux huiles obtenues si les résines et les hydrocarbures aromatiques à courtes chaînes sont éliminés. Leur choix et leur action dépendent de l'origine des huiles, du précédés de raffinage, de la nature des hydrocarbures aromatique, de résines et leur concentration.

II.3.4 Les rôles des huiles lubrifiantes :

Les huiles lubrifiantes jouent un rôle crucial dans la protection et la prolongation de la durée de vie des machines et des équipements dans les industries. Les principales fonctions des huiles lubrifiantes sont les suivantes :

II.3.4.1 Réduction de la friction :

La friction est un phénomène naturel qui se produit lorsque deux surfaces entrent en contact et frottent l'une de l'autre. Cette friction peut causer de l'énergie perdue sous forme de chaleur, de bruit, d'usure des surfaces et de consommation de carburant supplémentaire.

L'huile à pour rôle principale de réduire la friction entre les surfaces métalliques en mouvement, ce qui permet de minimiser l'usure et les dommages qui pourraient en découler. En plus de réduire la friction, l'huile lubrifiante a d'autres fonctions importantes, comme la protection contre la corrosion, la réduction des bruits et vibrations. (12)

II.3.4.2 Le refroidissement : (Equilibre thermique)

L'huile lubrifiante refroidit les composants essentiels du moteur complémentaiement aux autres systèmes de refroidissement (radiateur, eau...), comme bloc-cylindres, les pistons, les soupapes et des paliers. Lorsque l'huile circule à travers le moteur, elle absorbe la chaleur générée par la friction des pièces mobiles et la transfère vers les zones de refroidissement, telles que le radiateur, où elle est dissipée par convection ou par radiation.

De plus, l'huile lubrifiante aide à maintenir une température de fonctionnement stable en réduisant la friction et l'usure des pièces du moteur.

L'huile assure jusqu'à 35 % de la fonction de refroidissement. Donc il est important que l'huile doive résister à des températures extrêmes. (12)

II.3.4.3 Nettoyage : (L'évacuation des impuretés)

L'huile maintient en suspension et véhicule les imbrûlés issus de la combustion vers le filtre où elles seront arrêtées, afin d'éviter la formation des dépôts ou de vernis. (12)

II.3.4.4 Etanchéité : (la protection contre l'entrée d'impuretés)

L'huile protège constamment les pièces d'agressions comme les poussières aspirées par le moteur, l'eau et l'acide résultant de la combustion. (12)

II.3.4.5 Les rôles secondaires :

- Évacuation de la chaleur en vue d'un équilibre thermique ;
- Assurer l'isolation électrique ;
- Augmenter la durée de vie et la fiabilité des mécanismes ;
- Transmettre de l'énergie dans les systèmes hydrauliques comme un fluide caloporteur ;
- Absorber les chocs et réduire le bruit ;
- protection contre l'oxydation ; (2)

II.3.5 Les hydrocarbures contenus dans les huiles minérales :

Les huiles minérales classiques résultent du raffinage de coupes de distillation sous vide ainsi que de celui de résidus atmosphériques désasphaltée. Sont des hydrocarbures de diverses familles et d'une petite quantité d'impuretés résiduelles oxygénées, azotées et soufrées.

Selon la nature du pétrole brut d'origine, et aussi en fonction des opérations de raffinage, les huiles de base sont dites à tendance paraffiniques, à tendance naphthéniques ou à tendance aromatiques.

II.3.5.1 Tendances paraffiniques :

Les paraffines sont des hydrocarbures saturés linéaires (n-paraffines) ou ramifiés (iso-paraffines) caractérisés par un indice de viscosité élevé de l'ordre de 100, un pouvoir solvant limité et un point de congélation élevé.

Les paraffines linéaires sont stables vis-à-vis de l'oxydation, peu agressives pour les élastomères, dotées d'un bon indice de viscosité. Mais certains constituants cristallisent dès la température ordinaire.

Les paraffines ramifiés résistent bien à l'oxydation, sont peu agressives pour les élastomères, se comportent mieux à froid que les paraffines linéaires, mais leur indice de viscosité est plus faible.

Les paraffines ramifiées sont les plus intéressantes, et doivent être en quantité appréciable dans les fractions lubrifiantes des bruts paraffiniques. Par contre les paraffines à chaîne droite de poids moléculaire élevé doivent être retirées par déparaffinage afin d'éviter l'augmentation de la température de congélation des huiles.

Les huiles à tendance paraffiniques sont caractérisées par :

- Une variation relativement faible de la viscosité en fonction de la température ;
- Un indice de viscosité élevé, généralement voisins de 100 pour les huiles motrices ;
- Une faible volatilité pour une viscosité donnée ;
- Une faible densité pour une viscosité donnée ;
- un point d'inflammation élevé pour une viscosité donnée ; (11) (12)

II.3.5.2 Tendances naphthéniques :

Les naphthènes sont des hydrocarbures saturés cycliques, sont moins stables à l'oxydation que les paraffines, plus agressives pour les élastomères, mais possèdent de très bonnes caractéristiques d'écoulement aux basses températures malgré un indice de viscosité plus faible. Les naphthènes sont les composés désirés dans les huiles de graissage.

Les huiles à tendance naphthéniques sont caractérisées par :

- Une densité relativement élevée pour une viscosité donnée. Pour les huiles motrices ($> 0,90$) ;
- L'indice de viscosité (VI) est relativement faible, généralement voisins de 60 (une variation rapide de viscosité en fonction de la température) ;
- Une plus grande volatilité que la fraction paraffiniques, et le point d'inflammabilité est relativement bas ; (11) (12)

II.3.5.3 Tendances aromatiques :

Les aromatiques sont des hydrocarbures insaturés cycliques présentent des caractères encore plus accusés que les naphthènes. Ils sont très denses, peu stables à l'oxydation est très agressifs vis-à-vis les élastomères, possèdent un indice de viscosité très bas ou même négatif. Compte tenu de leurs mauvaises caractéristiques, ils nécessitent un traitement très poussé au niveau des unités de raffinage.

Les aromatiques sont plus ou moins agressifs, chimiquement actifs et leur caractère essentiel dans les huiles est leur altérabilité change la nature de l'huile). Ils sont facilement oxydables et provoquent la formation des produits résineux ou asphaltique accompagnés de dérivés corrosifs.

Alors, leur importance dans la composition des huiles finies est limitée. (11) (12)

Tableau 0-1: les caractéristiques de l'huile de base selon leur tendance (12)

Structure	Fraction principale	Caractéristiques
A tendance paraffiniques	+ de 80% paraffines	Densité < 0,900 Indice de viscosité VI= 93-105
A tendance naphthéniques	+ de 70% naphthènes	Densité de 0,900 à 0,940 Indice de viscosité VI= 30-80
A tendance aromatiques	+ de 50% aromatiques	Densité > 0,940 Indice de viscosité VI= 0-40

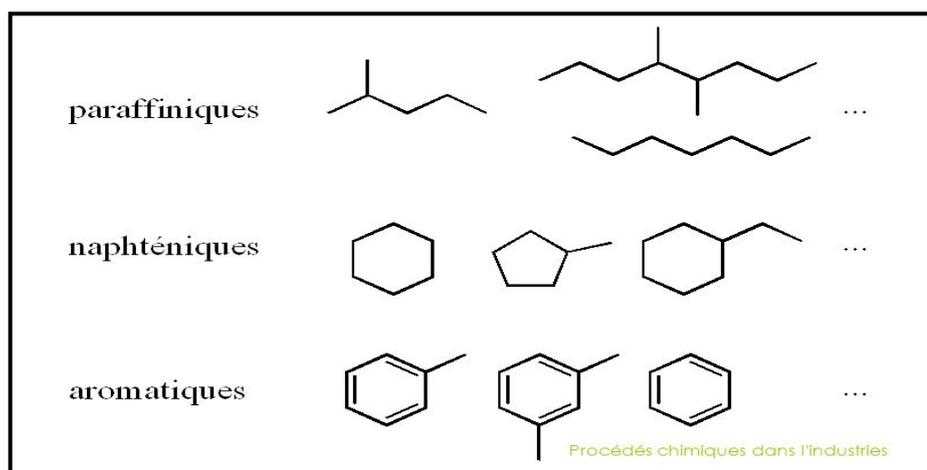


Figure II-4: les catégories d'hydrocarbures renfermant dans l'huile de base (14)

II.3.6 Les propriétés physico-chimiques des huiles lubrifiantes :

Les huiles lubrifiantes sont des fluides complexes qui possèdent plusieurs propriétés physico-chimiques importantes pour leur fonctionnement dans les machines. A savoir :

II.3.6.1 La viscosité :

La viscosité est une mesure de la résistance d'un fluide à l'écoulement. Les huiles lubrifiantes ont une viscosité qui dépend de leur composition chimique et de leur température.

Les huiles de viscosité élevée sont plus épaisses et conviennent à des applications telles que les moteurs diesel, tandis que les huiles de viscosité faible sont plus fines et conviennent à des applications telles que les moteurs à essence.

La viscosité cinématique est mesurée en chronométrant le temps d'écoulement de l'huile dans un tube capillaire. (13)

II.3.6.1.1 Méthode de détermination de la viscosité (ASTM D 445) :

La méthode ASTM D445 est une méthode normalisée largement utilisée pour la mesure de la viscosité cinématique des liquides transparents et des huiles à une température comprise entre 0°C et 100°C.

Cette méthode implique l'utilisation d'un viscosimètre à tube en verre en forme de U, dans lequel une quantité mesurée de fluide est aspirée et forcée à travers un capillaire de verre à une température constante. La viscosité est alors calculée à partir du temps nécessaire pour que le fluide s'écoule à travers le capillaire.

Cette méthode normalisée est conçue pour assurer des mesures de viscosité fiables et reproductibles. (17)

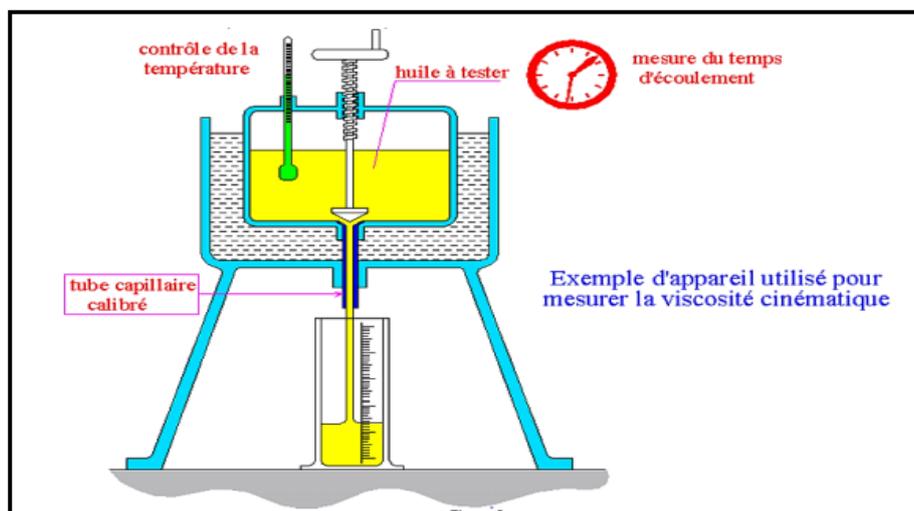


Figure II-5: Mesure de la viscosité cinématique de l'huile (13)

II.3.6.2 La densité :

La densité c'est le rapport de la masse d'un certain volume de cette huile à une température donnée du 15 à 20°C à celle du même volume d'eau à 4°C (d_4^{20}).

Elle généralement mesurée en kilogrammes par mètre cube Kg/m^3 , et dépend de la composition de l'huile et de la température à laquelle elle est mesurée.

La densité des huiles lubrifiantes peut être importante dans la sélection de l'huile appropriée pour une application spécifique, car une l'huile de densité différente peut avoir une viscosité différente, ce qui peut affecter la capacité de l'huile à protéger les surfaces en mouvement et à réduire l'usure (13).

II.3.6.2.1 Méthode de détermination de la densité (ASTM D1298)

La méthode normalisée pour l'analyse de densité de l'huile consiste à utiliser un densimètre, également appelé aréomètre. Les étapes générales de la méthode sont :

- On prend un échantillon d'huile représentatif dans un récipient propre et sec. Ainsi, le densimètre doit être propre et sec ;
- On Plonge le densimètre dans l'huile et on laisse flotter librement ;
- On Lire la densité sue l'échelle graduée du densimètre à l'endroit où il croise la surface de l'huile ;

Il convient de noter que la méthode normalisée pour l'analyse de densité de l'huile peut varier en fonction du type d'huile et de l'application. (17)

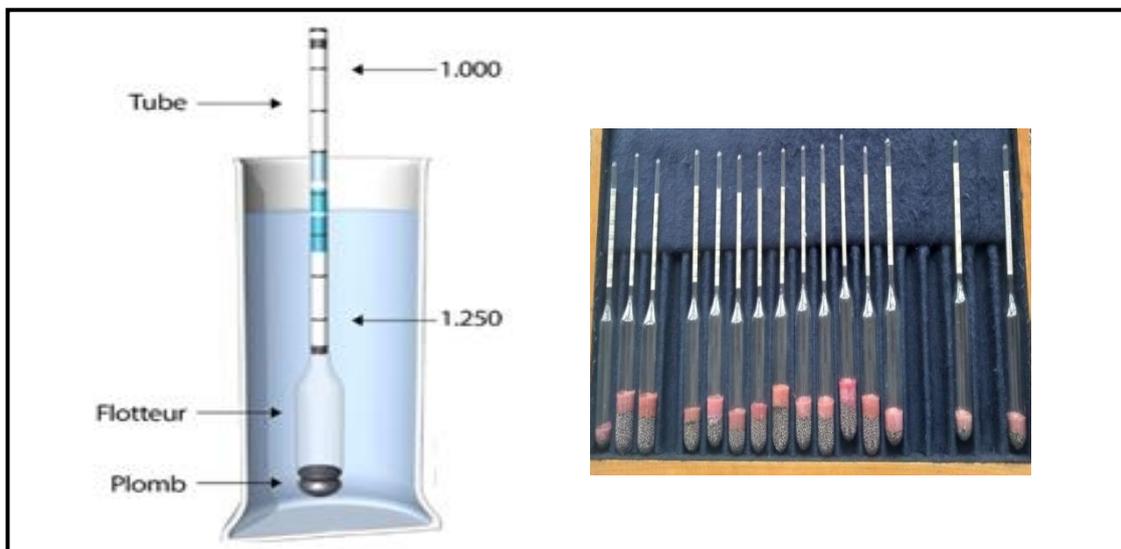


Figure II-6: Mesure de la densité de l'huile "densimètre" (17)

II.3.6.3 La couleur :

La couleur de l'huile lubrifiante peut varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que sa composition, son âge, son utilisation et son état de contamination.

En général, une huile lubrifiante propre et en bon état aura une couleur translucide à jaune pâle. Cependant, si l'huile est contaminée par des particules, des impuretés ou des résidus, elle peut prendre une couleur plus foncée ou opaque.

Certaines huiles spécifiques comme l'huile pour moteur diesel, peuvent avoir une teinte légèrement verte en raison de l'additive anti-usure zinc (dialkyldithiophosphate). L'huile pour moteur à essence peut quant à elle avoir une teinte légèrement dorée en raison de la présence d'additifs qui aident à prévenir l'oxydation.

Il est important de surveiller régulièrement la couleur de l'huile lubrifiante pour détecter les signes de contamination ou d'usure excessive. (13)

II.3.6.3.1 Méthode de détermination de la couleur (ASTM D6045) :

Nous comparons la couleur de l'huile par transparence sous épaisseur donnée à l'un des 16 verres étalons de l'échelle ASTM graduée de 0,5 (la plus claire) à 8 (la plus foncée= rouge opaque).

L'appareil de la détermination de la couleur appelée calorimètre. (17)



Figure II-7: l'appareil de la détermination de la couleur "calorimètre" (17)

II.3.6.4 Point de trouble :

Le point de trouble est la température à laquelle les hydrocarbures paraffiniques commencent à se solidifier à baisse température, et alors l'huile lubrifiante devient trouble. Ceci est important car une l'huile trouble peut boucher les conduites dans le moteur. (13)

II.3.6.5 Point d'écoulement :

Le point d'écoulement de l'huile lubrifiante est la température à laquelle une l'huile perd sa capacité à s'écouler librement. Il s'agit d'une propriété importante des huiles lubrifiantes car elle détermine leur capacité à fonctionner efficacement dans les machines à des températures élevées ou basses.

Plus précisément, le point d'écoulement correspond à la température la plus basse à laquelle une l'huile peut encore s'écouler sous l'effet de la gravité, en l'absence de toute agitation mécanique. En dessous de cette température, l'huile devient plus visqueuse et peut causer des problèmes de lubrification, tels que des frottements excessifs et des dommages aux composants mécaniques.

Le point d'écoulement dépend de la composition chimique de l'huile, de sa viscosité, de sa structure moléculaire et d'autres facteurs tels que la pression et l'humidité. (13)

II.3.6.6 Point de congélation :

Le point de congélation est la température à laquelle une l'huile lubrifiante se solidifie. Ceci est importante car une huile solide ne peut pas fonctionner comme lubrifiant et peut bloquer les conduites et les canaux dans la machine. (13)

II.3.6.6.1 Méthode de détermination de point d'écoulement, de congélation et point de trouble (ASTM D97):

Les étapes générales de la méthode normalisée d'analyse des trois propriétés d'écoulement à basse température sont :

- On verse un échantillon de l'huile dans un tube à essai propre et sec ;
- On ferme le tube avec un bouchon muni d'un thermomètre ;
- On place le tube à essai dans la jaquette qui est maintenu en position verticale dans le bain réfrigérant, de manière qu'elle dépasse au plus de 25mm le niveau du milieu de réfrigérant ;

- On commence les mesures à une température supérieure à 12°C ou moins à celle du point d'écoulement présumé, en examinant le tub à essai à chaque fois que la température baisse de 3°C, jusqu'à l'huile cesse de couler et commence à se solidifier ;

Le point d'écoulement atteint lorsque l'huile ne peut plus être déplacée le long de la surface de l'échantillon.

Le point de congélation atteint lorsque les premiers cristaux apparaissent dans l'huile, il se situe à 3°C en dessous du point d'écoulement. (12)

II.3.6.7 Le point d'éclair (flash point) :

Le point d'éclair est la température minimale à laquelle une huile lubrifiante peut s'enflammer. Cela est important car les températures dans les machines peuvent atteindre des niveaux élevés et une huile qui s'enflamme facilement peut causer des dommages importants. (13)

II.3.6.7.1 Méthodes de détermination de point d'éclair (ASTM D93) :

L'analyse de point d'éclair de l'huile est une mesure importante de la sécurité des huiles lubrifiantes. La méthode utilisée est la méthode de Pensky-Martens (closed cup).

- On place l'échantillon dans une coupelle fermée munie d'une cheminée ;
- Le produit est chauffé progressivement, le point d'éclair atteint lorsqu'une petite flamme soit détectée ;

Les huiles avec des points d'éclair plus élevés ont tendance à être plus sûres, car elles sont moins susceptibles de s'enflammer ou de causer des incendies dans des conditions normales d'utilisations (varie entre 200 à 300). (17)

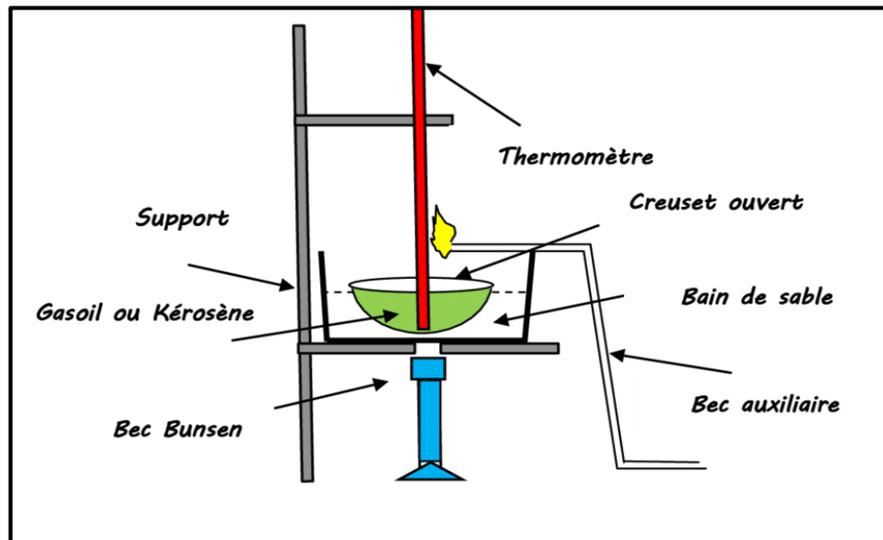


Figure II-8: Mesure de point d'éclair de l'huile (17)

II.3.6.8 L'indice d'acidité :

L'indice d'acidité détermine la teneur en acides naphthéniques qui causent la corrosion et mènent à la formation des sels, ce qui diminue la tenue à l'oxydation et augmente le pouvoir émulsifiant de l'huile dans l'eau. (13)

II.3.6.8.1 Méthodes de détermination de l'indice d'acidité :

L'indice d'acidité d'une huile est une mesure de sa teneur en acides gras libres, exprimée en milligrammes d'hydroxyde de potassium (KOH) nécessaire pour neutraliser les acides gras libres présents dans un gramme d'huile.

La méthode normalisée pour l'analyse de l'indice d'acidité de l'huile est la méthode officielle de : l'Association of Official Analytical Chemists (AOAC) international :

- On prend un échantillon de l'huile et on l'ajoute un volume précis de la solution d'alcool éthylique et quelques gouttes de phénolphthaléine ;
- On agite vigoureusement pour dissoudre l'huile ;
- On titre la solution obtenue avec une solution d'hydroxyde de potassium (KOH) normalisée (0,1N), jusqu'à la couleur rose de la solution devienne stable ;
- On note le volume de KOH utilisé et on calcule l'indice d'acidité en utilisant la formule suivante :

$$IA = \frac{(V \times N \times M)}{m}$$

Avec :

IA : l'indice d'acidité (mg KOH/g) ;

V : le volume de KOH utilisé (ml) ;

N : la normalité de KOH ;

M : masse molaire de KOH (56,1 g/mol) ;

m : la masse de l'huile ; (12)

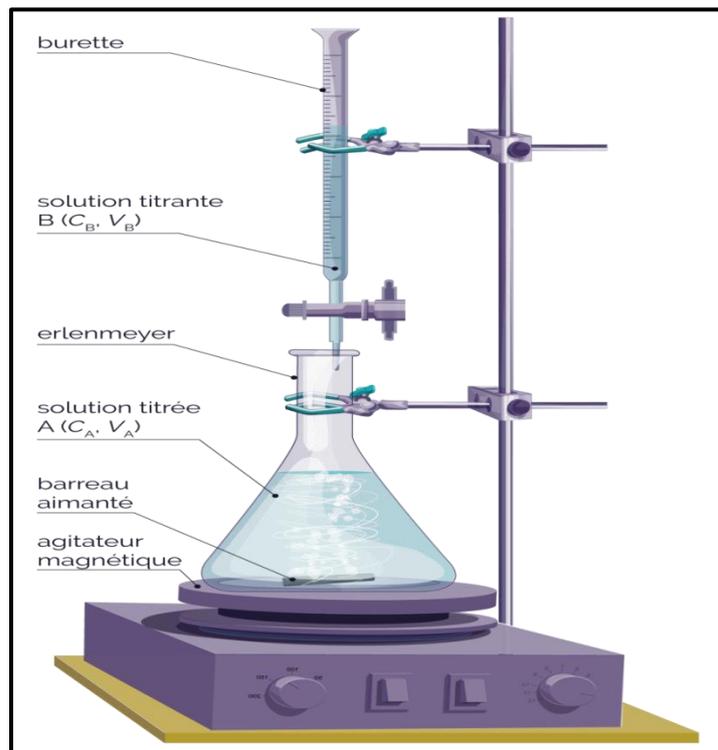


Figure II-9: Mesure de l'indice d'acidité "titrage acido-basique" (17)

II.3.6.9 Onctuosité :

L'onctuosité caractérise la continuité et la stabilité d'un film d'huile entre les pièces en contact, ce film protecteur diminue le frottement et l'usure pendant le démarrage du moteur à froid.

II.3.6.10 L'indice de viscosité :

L'indice de viscosité de l'huile lubrifiante (VI) est une mesure de la variation de viscosité de l'huile en fonction de la température. En d'autres termes, c'est une mesure de la capacité de l'huile à maintenir sa viscosité à différentes températures de fonctionnement.

L'indice de viscosité est calculé en comparant la viscosité d'une huile à deux températures différentes (généralement 40°C et 100°C) avec la viscosité d'une huile standard ayant une viscosité connue à ces mêmes températures. Plus l'écart entre les viscosités de l'huile testée et de l'huile standard est faible, plus l'VI de l'huile testée est élevé.

Un VI élevé indique que l'huile est moins sensible aux variations de température et conserve donc une viscosité plus stable, ce qui est important pour une lubrification efficace des composants mécaniques. (13)

II.3.6.10.1 Méthode de détermination de l'indice de viscosité (ASTM D2270) :

Cette méthode normalisée utilise deux familles d'huiles :

- Huile de type paraffiniques (H) de Pennsylvanie avec un indice de viscosité égale à 100 ;
- Huile de type naphthénique (L) du Gulf Coast avec un indice de viscosité égale à 0 ;

Les échantillons d'huiles des deux familles ont été étudiés du point de vue viscosité et l'on a dressé des tables de référence de viscosité pour toutes ces huiles caractérisées par leurs viscosité à 100°C et à 40°C.

Afin déterminer l'indice de viscosité d'huile quelconque, on mesure sa viscosité à 40°C et à 100°C, puis on cherche dans les tables les huiles (L) et (H) ayant la même viscosité.

Alors, l'indice de viscosité est déterminé à partir des mesures de viscosité. (12)

II.3.6.11 Propriétés de résistance à l'oxydation et à la corrosion :

La résistance des huiles lubrifiantes à l'oxydation et à la corrosion est essentielle pour maintenir leur performance et prolonger la durée de vie des équipements :

- ❖ **Stabilité à l'oxydation :** Les huiles lubrifiantes doivent être stables à l'oxydation pour résister à la dégradation causée par l'oxygène à haute température. Lorsque les huiles lubrifiantes s'oxydent, elles peuvent former des dépôts de vernis, de la boue ou des acides qui peuvent obstruer les canaux d'huile et endommager les surfaces de contact. Les huiles lubrifiantes résistantes à l'oxydation conservent leur viscosité et leurs propriétés de lubrification plus longtemps, ce qui permet de maintenir une performance optimale.

- ❖ **Résistance à la corrosion** : Les huiles lubrifiantes dotées de propriétés anticorrosion forment une couche protectrice sur les surfaces métalliques, empêchant ainsi la formation de rouille ou de corrosion. Elles protègent également les pièces contre l'usure et les dommages causés par la corrosion. (13)

II.3.7 Classification des huiles lubrifiantes :

II.3.7.1 Classification selon la viscosité :

La viscosité de l'huile lubrifiante est importante car elle détermine la manière dont l'huile circule à travers les parties mobiles du moteur. Les huiles lubrifiantes peuvent être classées en fonction de leur viscosité selon les systèmes suivants :

II.3.7.1.1 Classification SAE (Society of Automotive Engineers):

Classification des huiles selon la SAE est basée sur la mesure de la viscosité de l'huile à deux températures, à savoir à froid et à chaud. Les classes SAE courantes pour les huiles motrices sont les suivantes :

- ❖ **SAE 0W, 5W, 10W, 15W, 20W**: ce sont des huiles pour moteurs automobiles qui sont conçues pour une utilisation dans des conditions de froid intense (W signifie Winter), ce qui indique que l'huile est conçue pour une utilisation en hiver ;
- ❖ **SAE 30, 40, 50, 60** : ce sont des huiles pour moteurs automobiles qui sont conçues pour une utilisation dans des conditions de température moyenne à élevée. Ces huiles sont utilisées dans les moteurs à essence et diesel ;
- ❖ **SAE 10W-30, 10W-40, 15W-40, 20W-50** : ce sont des huiles pour moteurs automobiles multigrades qui conviennent à une large gamme de températures. Ces huiles offrent une protection accrue contre l'usure et la corrosion, ainsi qu'une meilleure économie de carburant ;
- ❖ **SAE 80W-90, 85W-140** : ce sont des huiles pour transmissions automobiles qui sont conçues pour une utilisation dans des conditions de haute charge et de températures. Ces huiles sont utilisées dans les boîtes de vitesses et les boîtes de transfert ; (18)

Il est important de choisir le grade d'huile lubrifiante approprié en fonction de l'application et des exigences spécifiques.

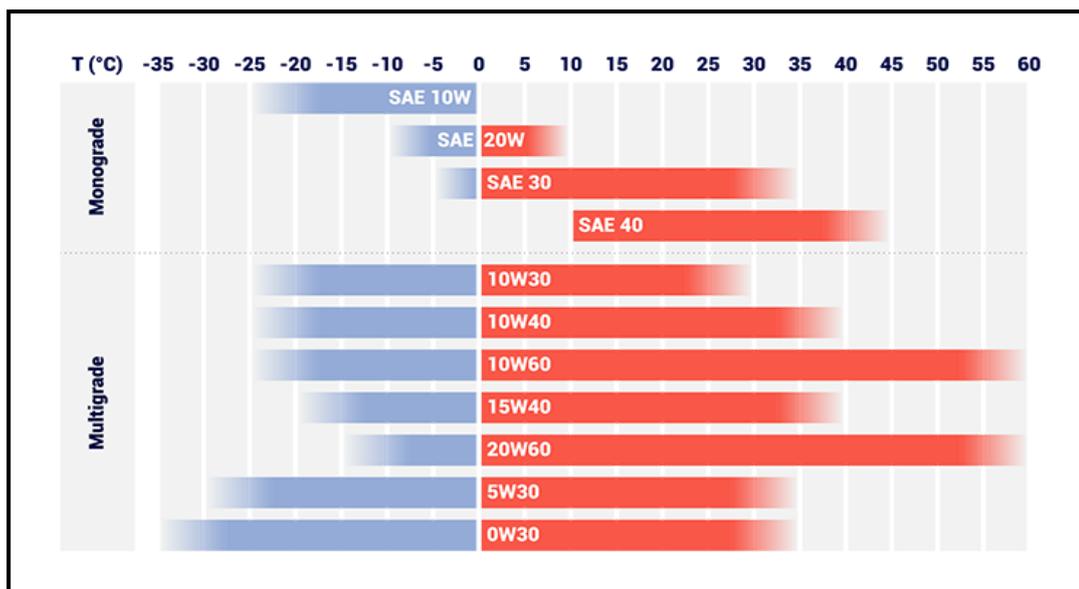


Figure II-10: classification SAE des huiles lubrifiantes (18)

II.3.7.1.2 Classification ISO (International Standards Organisation) :

Cette classification utilise des codes numériques pour décrire la viscosité de l'huile. Par exemple : une l'huile ISO VG 32 a une viscosité de 32 cSt (centistokes) à 40°C.

II.3.7.1.3 Classification API (American Petroleum Institute) :

L'API a développé un système de classification pour les huiles moteur en fonction de leur performance. Le système API classe les huiles en deux catégories :

- Huiles pour moteur à essence : API SN, SM, SL, SH, SG, SF, SE, SD, SC, SB, SA ;
- Huiles pour moteur à diesel : API CK-4, CJ-4, CI-4, CH-4, CG-4, CF-4, CF-2, CF ;

Les lettres de la classification API représentent les niveaux de performance, sont conçues pour répondre aux exigences des moteurs modernes et offrent une protection accrue contre l'usure, la corrosion, la formation de dépôts et la dégradation de l'huile.

II.3.7.2 Classification selon le service :

Les huiles lubrifiantes peuvent être classées selon le service pour lequel elles sont conçues. Les classifications suivantes sont généralement utilisées :

II.3.7.2.1 Huiles moteur :

Ces huiles sont utilisées pour lubrifier les moteurs à combustion interne. Elles sont classées selon leur viscosité et leur niveau de performance, qui est déterminé par les testes de laboratoire. (13)

II.3.7.2.2 Huiles de transmission :

Ces huiles sont utilisées pour lubrifier les transmissions, les boîtes de vitesses, les différentiels, etc. elles sont classées selon leur viscosité et leur niveau de performance, qui est déterminé par les testes de laboratoire.

Les classifications courantes incluent la norme API pour les huiles de transmission automatique. (13)

II.3.7.2.3 Huiles hydrauliques :

Ces huiles sont utilisées pour lubrifier les systèmes hydrauliques, tels que les équipements de construction, les équipements industriels, etc..

Les classifications courantes incluent la norme ISO (Organisation Internationale de normalisation). (13)

II.3.7.2.4 Huiles pour engrenages :

Ces huiles sont utilisées pour lubrifier les engrenages et les systèmes de transmission de puissance. Les classifications courantes incluent la norme AGMA (American Gear Manufactures Association) et la norme ISO. (13)

II.3.7.2.5 Huiles pour compresseurs :

Ces huiles sont utilisées pour lubrifier les compresseurs d'air et les systèmes de réfrigération. Les classifications courantes incluent la norme ISO et la norme DIN (Deutsches Institut fur Normung) (13)

II.4 La chaîne de fabrication des huiles lubrifiantes :

II.4.1 Introduction :

La raffinerie d'Arzew renferme une zone (5) qui est destinée à la production des huiles de base à partir de brut réduit atmosphérique (BRA) prévenant de la zone 4, et de la distillation atmosphérique du brut de HASSI MESSAOUD (BHM) prévenant de la zone 4 afin de produire des huiles finies lubrifiantes.

La première étape dans le traitement des huiles lubrifiantes est la séparation, sur les unités de distillation du pétrole brut, des fractions individuelles en fonction de leur viscosité et de leur plage d'ébullition. Les matières premières pour huiles lubrifiantes plus lourdes sont incluses dans le fond de la tour de fractionnement sous vide avec les asphaltènes, les résines et d'autres matériaux indésirables.

Les fractions d'huile lubrifiante de la plupart des pétroles bruts contiennent des composants ayant des caractéristiques indésirables pour les huiles finies comprenant : des points d'écoulement élevés, des variations de viscosité importantes avec la température (faible indice de viscosité), une mauvaise couleur et une tendance élevée à la formation de carbone et de dépôts (19). Les procédés utilisés pour modifier ces caractéristiques sont les suivants :

- Désasphaltage au propane ;
- Extraction des aromatiques au furfural ;
- Déparaffinage ;
- Hydrofinishing ;



Figure II-11: image correspond à la zone 5 (2)

II.4.2 Les procédés de fabrication des huiles lubrifiantes :

II.4.2.1 La distillation sous vide (Unité 100) :

La distillation sous vide de brut réduit atmosphérique est un processus de raffinage pétrolière effectuée sous pression réduite afin de permettre l'évaporation de certains composants à des températures inférieures à leur point d'ébullition normal. Cela permet de préserver les composants les plus volatils du brut.

La distillation sous vide consiste à séparer le résidu atmosphérique sortant au fond de la colonne atmosphérique et d'extraire des coupes des distillats destinées pour la production des lubrifiants. En effet, cette fraction résiduelle de la colonne de distillation atmosphérique, appelée « résidu atmosphérique » contient des hydrocarbures à longues chaînes et plus les chaînes sont longues plus elles sont fragiles, donc susceptibles d'être scindées en plusieurs morceaux si le chauffage continue sous la pression atmosphérique. Afin d'éviter ces coupures intempestives de chaînes, on fait la séparation des produits de ce résidu atmosphérique sous un vide relatif correspondant à une pression d'environ 40 à 60 mm de mercure (la pression atmosphérique correspond à 760 mm de mercure). (12)

La distillation sous vide constitue la première partie de raffinage des huiles, elle est nécessaire pour éviter la destruction des molécules (cracking) aux hautes températures, elle permet de ne pas dépasser 400-430 °C. L'unité de distillation sous vide est destinée à préparer les distillats qui seront transformés en huile de base. La distillation sous vide permet d'obtenir des distillats à des viscosités souhaitées (12). A savoir :

- ❖ **Spindle (SPO) :** (huiles légères) elles sont utilisées pour les machines à faible charge et grande vitesse de rotation ;
- ❖ **Mi-visqueuse (MVO ou SAE 10) :** (huiles moyennes) utilisées pour les charges et vitesses de rotation moyennes ;
- ❖ **Visqueuse (VO ou SAE 30) :** (huiles lourdes) elles sont utilisées comme huile dans le domaine agricole ;
- ❖ **Bright-stocks (BS) :** (huiles résiduelles) elles sont obtenues à partir du raffinat du procédé de Désasphaltage. elles sont utilisées dans les machines travaillant à grande charge et faible vitesse de rotation ; (11)

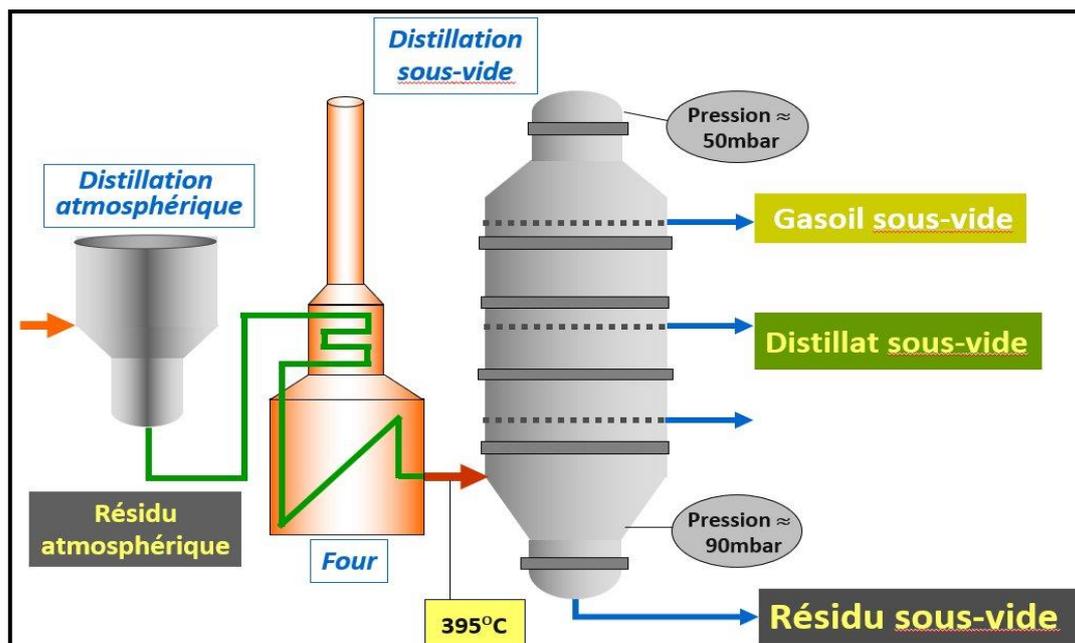


Figure II-12: La distillation sous vide (2)

II.4.2.2 Désasphaltage au propane (U200) :

Les matières premières de distillat plus légères pour la production d'huiles de base lubrifiantes peuvent être envoyées Directement aux unités d'extraction par solvant, mais les puits atmosphériques et sous vide restent exiger Désasphaltage pour éliminer les asphaltènes et les résines avant de subir un solvant extraction.

Le Désasphaltage est un procédé d'extraction liquide-liquide, d'une huile lourde à partir du résidu sous vide (RSV), accomplie dans un extracteur à disque rotatif (RDC) dans lequel sont mis en contacte la charge et un solvant qui favorise la précipitation de la fraction asphaltique. La séparation entre la fraction asphaltique et la fraction huileuse est améliorée en opérant avec un gradient de température entre le sommet et le fond de l'extracteur.

Le résidu sous vide (RSV) est une partie précipitée au cours de la distillation sous vide, dans ce résidu sont concentrées les fractions de poids moléculaires élevés de nature aromatique résineuse et asphaltique.

Le propane (C_3H_8) est utilisé pour éliminer les asphaltènes en raison de ses propriétés solvants uniques. À basse température (100 à 140 °F), les paraffines sont solubles dans le propane, et à des températures plus élevées (200 °F), tous les hydrocarbures sont presque insolubles dans le propane.

L'huile est plus soluble dans le propane et, par conséquent, se dissout et s'écoule vers le haut de la colonne. Les asphaltènes et la résine s'écoulent vers le fond, où ils sont éliminés dans un mélange de propane. L'unité comprend 4 sections principales :

- Traitement de la charge ;
- Récupération du solvant dans l'huile désasphaltée ;
- Récupération de solvant dans l'asphalte ;
- Récupération de l'huile désasphaltée et de l'asphalte ;

Les produits obtenus sont :

- L'huile désasphaltée (DAO= 69%) constituant le quatrième distillat (BS) ;
- L'asphalte (31%) pour la fabrication des bitumes routier et oxydé ; (14) (15)

II.4.2.3 Extraction au furfural (Unité 300) :

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques et naphthéno-aromatiques à courtes chaînes latérales, les hydrocarbures non saturés, ainsi que les corps résineux sont classés parmi les constituants indésirables des huiles car ils augmentent la viscosité de l'huile de base et par conséquent l'indice de viscosité diminue (les aromatiques sont très visqueux mais se délattent rapidement lorsque la température augmente). (15)

II.4.2.3.1 Le but de procédé :

Le but de procédé de l'extraction au furfural (liquide-liquide) est l'amélioration de l'indice de viscosité (VI) des distillats sous vide et de DAO, en se débarrassant des composés instables à l'oxygène.

II.4.2.3.2 Le principe de procédé :

Le principe de l'extraction au furfural est l'élimination des hydrocarbures aromatiques qui ont un mauvais indice de viscosité et facilement oxydable.

Les distillats sous vide et le DAO sont introduites dans un extracteur à contre-courant continu à une température varie en fonction de la viscosité de l'aliment, plus la viscosité est grande, plus la température est élevée.

L'unité d'extraction est généralement un contacteur à disque rotatif avec un gradient de température de haut en bas de 30 à 50 °C (60 à 90 °F). La température au sommet de la tour est en fonction de la température de miscibilité du furfural et de l'huile, Il est généralement

compris entre 105°C et 150°C (220 à 300°F). La phase huileuse est la phase continue, et la phase furfural dispersée passe vers le bas à travers l'huile. L'extrait est recyclé avec un rapport de 0,5:1 pour améliorer l'efficacité d'extraction. Les ratios furfural/huile vont de 2:1 pour les stocks légers à 4,5:1 pour les stocks lourds. Les pertes de solvants sont normalement inférieures à 0,02 % en poids des débits de raffinat et d'extrait.

Le furfural est un aldéhyde cyclique appartenant au groupe du furane C_4H_4O . On l'appelle encore furfurol, mot qui vient de l'expression latine (furfur oléum) qui veut dire l'huile de son. On obtient le furfural à partir des matières végétales contenant des pentosanes, à savoir la tige de maïs, le son, les enveloppes des graines de tournesol et de cotonnier, la paille ...etc.

La raffinerie d'Arzew utilise le furfural pour avantage, son utilisation la plus répandue, sa faible toxicité, sa disponibilité, sa grande sélectivité et son adaptation à toutes les gammes de charge. Mais il présente quelque Désavantage : il est oxydable, corrosif et sa transformation en coke. (15)

L'unité comprend 4 sections principales :

- Traitement de charge ;
- Récupération du solvant dans le raffinat ;
- Récupération du solvant dans l'extrait ;
- Récupération du raffinat et de l'extrait ;

II.4.2.3.3 Les variables opératoires :

- Taux de solvant ;
- Température d'extraction ;
- Choix de solvant ;
- Pureté de solvant ;
- Gradient de concentration ;
- Débit de charge ; (11)

Les produits obtenus sont :

- L'extrait : une phase plus lourde riche en furfural.
- Le raffinat : une phase pauvre en furfural qui contient l'huile à haut indice de viscosité (VI).

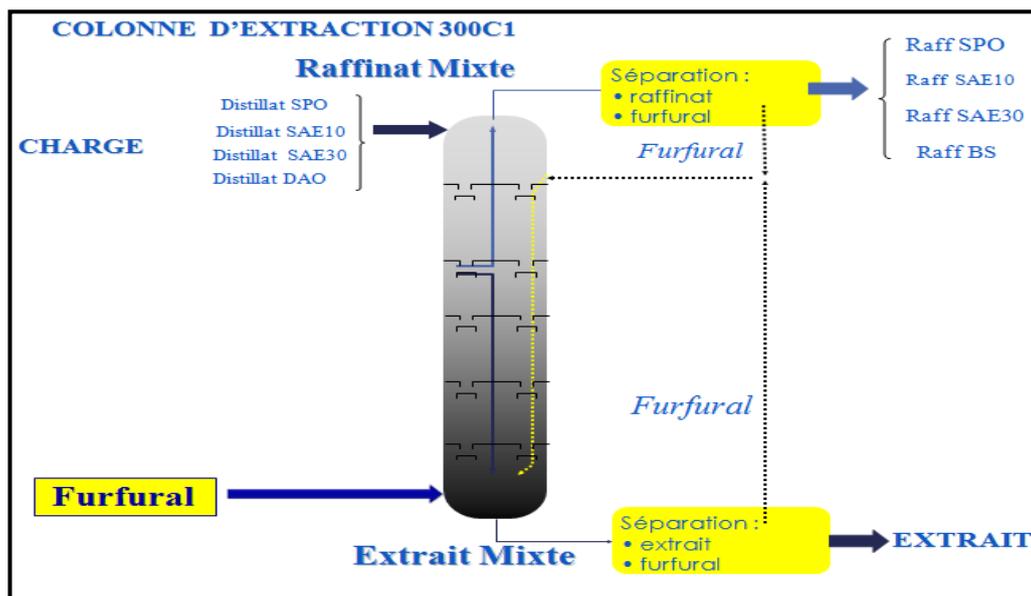


Figure II-13: L'extraction au furfural (2)

II.4.2.4 Déparaffinage au MEC/Toluène (Unité 400) :

Les molécules paraffiniques à chaînes droites ou ramifiées ont tendance à se cristalliser lorsque la température baisse, or l'huile doit garder sa fluidité dans les moteurs à des températures très basses (-20°C), car une huile solide ne peut pas fonctionner comme lubrifiant et peut bloquer les conduites et les canaux de moteur.

Le Déparaffinage est l'un des processus les plus importants et les plus difficiles dans la fabrication d'huile de lubrification, et le processus utilisée c'est la réfrigération pour Cristalliser la cire et le solvant pour diluer suffisamment la partie d'huile pour permettre une filtration pour séparer la cire de l'huile. (15)

II.4.2.4.1 Le but de procédé :

Le but de procédé de déparaffinage au MEC/Toluène est d'abaisser le point de trouble et le point d'écoulement des distillats sous vide et de DAO.

II.4.2.4.2 Le principe de procédé :

Le toluène est un liquide incolore avec une odeur caractéristique, mais il est plus toxique que le MEC. Le toluène a la propriété de dissoudre l'huile.

Le MEC (méthyle-éthyle-cétone) est également un liquide incolore avec une odeur légèrement sucrée et une faible toxicité. Anti-solvant qui a la propriété de favoriser la cristallisation des paraffines. Les proportions de solvant MEC/Toluène est de l'ordre 50/50.

Le solvant est ajouté à l'huile et le mélange est refroidi progressivement dans une série d'échangeurs et de refroidisseurs au propane à surface racleuse jusqu'à la température de -26°C . L'opération de séparation se passe dans les filtres rotatifs sous vide (le vide est créé par le compresseur de gaz inerte), ces derniers permettent l'élimination de la cire. Le gâteau de filtration est lavé avec un solvant froid et une couverture de gaz inerte, à une légère pression positive, est maintenue sur les filtres et également utilisée pour « souffler » la cire du gâteau de la toile filtrante et relâchez-le avant qu'il n'atteigne le couteau racleur à tambour filtrant. Le solvant est récupéré du filtrat et de la cire par chauffage et en deux étapes Clignotement, suivi d'un décapage à la vapeur. (15)

Les produits de l'unité de déparaffinage sont :

- Une huile déparaffinée qui doit ensuite passer par une étape de finition pour améliorer sa couleur ;
- Une cire creuse qui est utilisée pour l'alimentation du craqueur catalytique ou subit une opération de déshuilage avant d'être vendue sous forme de cire industrielle ;

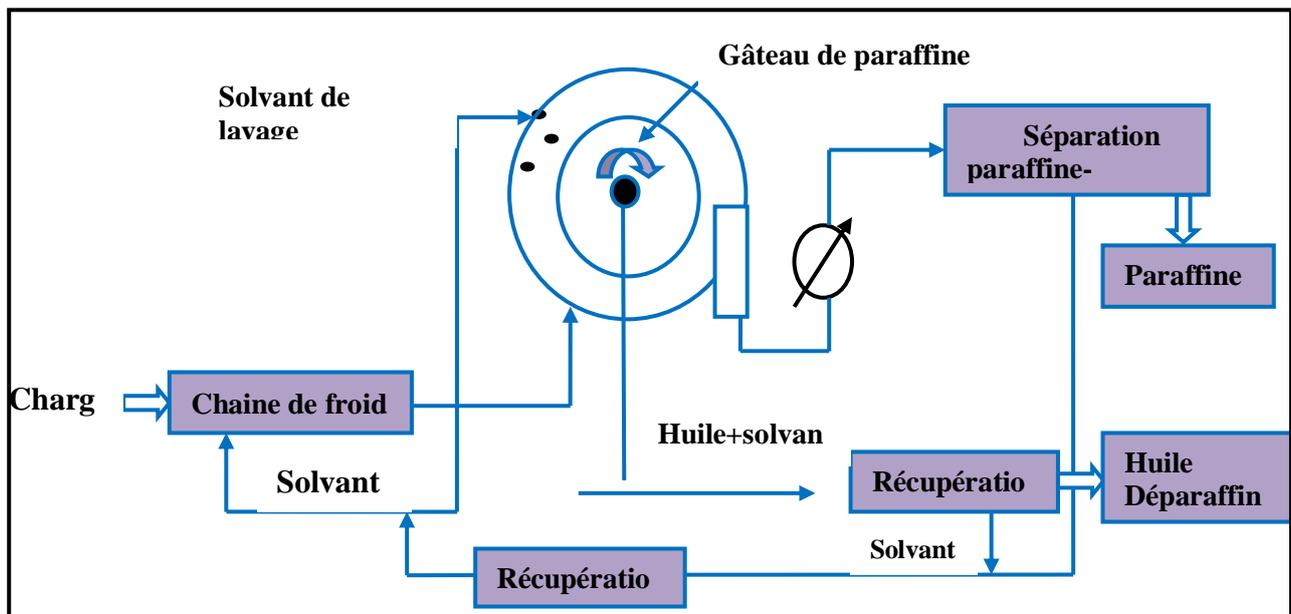


Figure II-14: schéma simplifié des étapes de déparaffinage au MEC/Toluène

II.4.2.5 Traitement de finition ou Hydrofinishing (Unité 500) :

Les huiles ayant subi les opérations précédentes possèdent encore des substances indésirables, tels que les hydrocarbures insaturés (dioléfines), non hydrocarbures (composés azotés, oxygénés sulfurés) ou composés instables, qui doivent être éliminés à l'aide d'une opération appelée Hydrofinishing. (15)

II.4.2.5.1 Le but de procédé :

La section d'hydrofinissage est une unité de faible sévérité. Elle a pour rôle d'éliminer les insaturés, le soufre et l'azote dans le but d'améliorer les propriétés suivantes :

- Stabilité de la couleur ;
- Stabilité à l'oxydation ;
- Stabilité thermique ;
- Minimiser la teneur en impuretés ; (11)

II.4.2.5.2 Principe de procédé :

Le traitement consiste essentiellement à faire passer l'huile et de l'hydrogène à travers un lit catalytique sous des conditions modérées de température et de pression. Le procédé utilise un catalyseur dans lequel est associée une base métallique où la réaction de décoloration et d'amélioration de la résistance à l'oxydation prend place. (11)

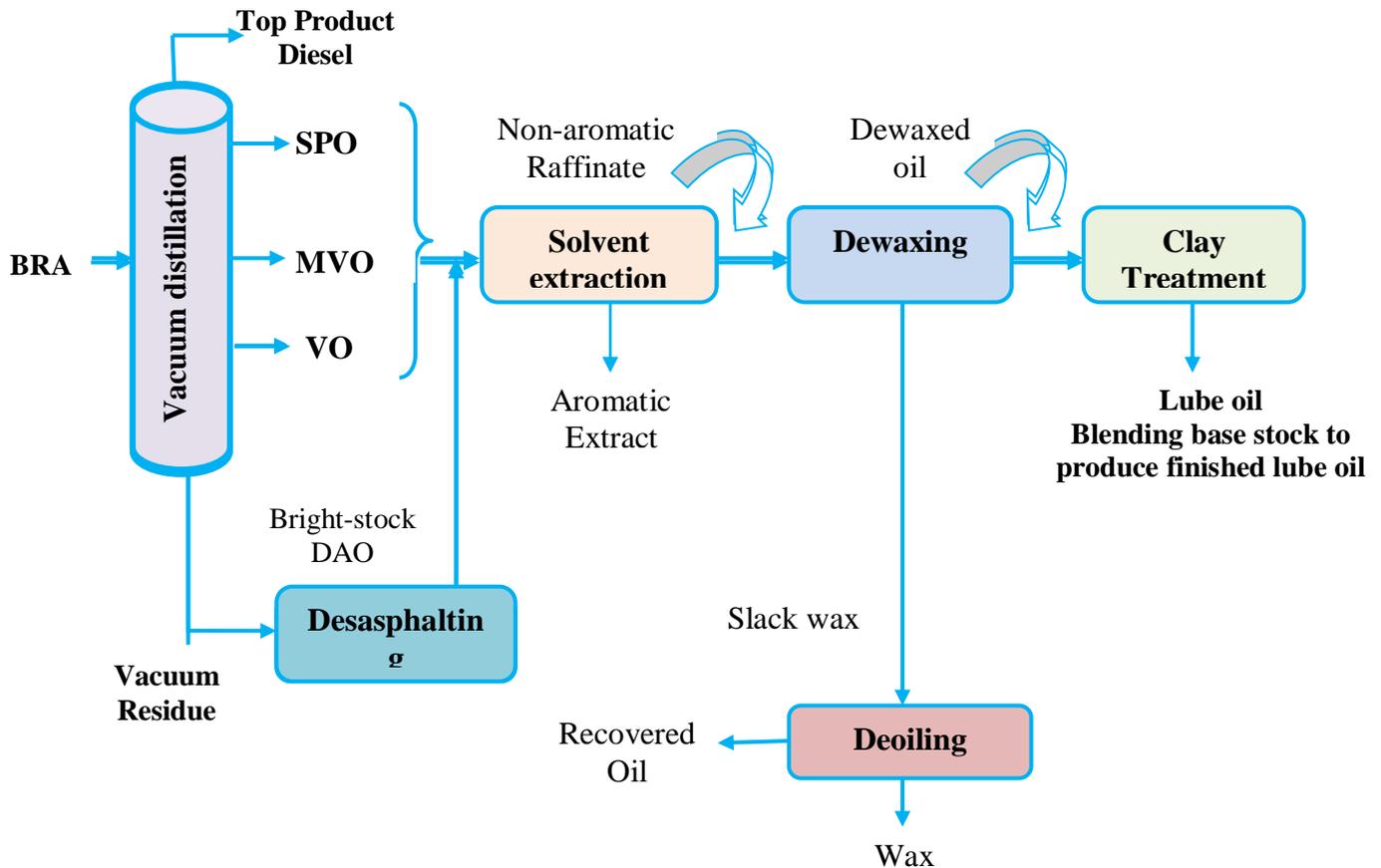


Figure II-15: la chaine de fabrication des huiles lubrifiantes

II.4.2.6 Fabrication des huiles lubrifiantes finis :

En général, la sélection des huiles de base pour la production des huiles lubrifiantes finies se fait en fonction de :

- Le niveau de performance ;
- Le grade de viscosité demandé ;
- La demande du marché ;
- La qualité de l'huile à fabriquer ;

Alors, la fabrication des huiles lubrifiantes finies est effectuée en mélangeant les huiles de base de qualité appropriée (70%-90%) avec des additifs spécifiques du (10%-30%). (2)



Figure II-16: Image correspond à une l'huile lubrifiante (13)

Tableau 0-2: les spécifications des huiles lubrifiantes (4)

Propriétés Physico- chimique	SPO	SAE 10	SAE 30	BS
Viscosité à 40°C (cSt)	2,3-2,5	5-6	10,5-12,5	32-36
Viscosité à 100°C (cSt)	8-16	30-40	90-120	480-610
d_4^{15}	0,8430	0,8500	0,8700	0,8900
VI	94-97	94-97	94-97	93-95
Point d'éclair °C	180-200	200-230	230-280	290-320

II.5 Conclusion :

Les huiles lubrifiantes sont utilisées dans une grande variété d'applications, allant des moteurs automobiles et des machines industrielles pour réduire la friction et l'usure des surfaces au mouvement.

La fabrication des huiles lubrifiantes implique généralement la combinaison d'une base d'huile minérale ou synthétique avec des additifs pour améliorer les propriétés de l'huile.

Le processus de fabrication peut varier selon le type d'huile lubrifiante, mais implique généralement un mélange soigneux des ingrédients, suivi d'une purification et d'un traitement thermique pour éliminer les impuretés et améliorer la performance de l'huile.

Il est important de choisir le bon type d'huile lubrifiante pour une application donnée, en fonction des conditions de fonctionnement prévue. Une huile inappropriée peut entraîner une usure prématurée des composants de la machine et une réduction de l'efficacité énergétique.

Chapitre III

Description de l'unité de Désasphaltage au propane

III.1 Introduction :

L'histoire du Désasphaltage au propane remonte aux années 1980, lorsque les raffineries ont commencé à rechercher des moyens plus efficaces et rentables pour traiter ces fractions lourdes de pétrole brut. Au fil du temps, cependant, des améliorations dans la technologie et dans les processus ont permis de rendre le Désasphaltage au propane plus efficace et plus sûr.

Aujourd'hui, cette technique est utilisée dans de nombreuses raffineries à travers le monde pour produire des produits pétroliers tels que les huiles lubrifiantes à partir de fractions lourdes de pétrole brut.

Le Désasphaltage est une opération de séparation liquide-liquide permettant d'épuiser le résidu sous vide des derniers hydrocarbures encore facilement transformables, en utilisant les paraffines légères comme solvant comprennent : Propane, butane, pentane. (14)

III.2 Le but de procédé :

L'unité de Désasphaltage au propane (U200) a pour but de séparer les asphaltènes et les résines lourdes contenus dans le résidu sous vide provenant de l'unité de distillation sous vide (U100) de ses fractions huileuses.

L'huile désasphaltée est destinée pour la préparation de Bright-stock à haute viscosité, ou utilisée comme charge de craquage catalytique (FCC), alors que le brai de Désasphaltage obtenue peut constituer une base pour la formulation des bitumes en mélangeant avec l'extrait des aromatique.

L'unité de Désasphaltage au propane est prévue de traiter une charge de 382t/j (14) (16).

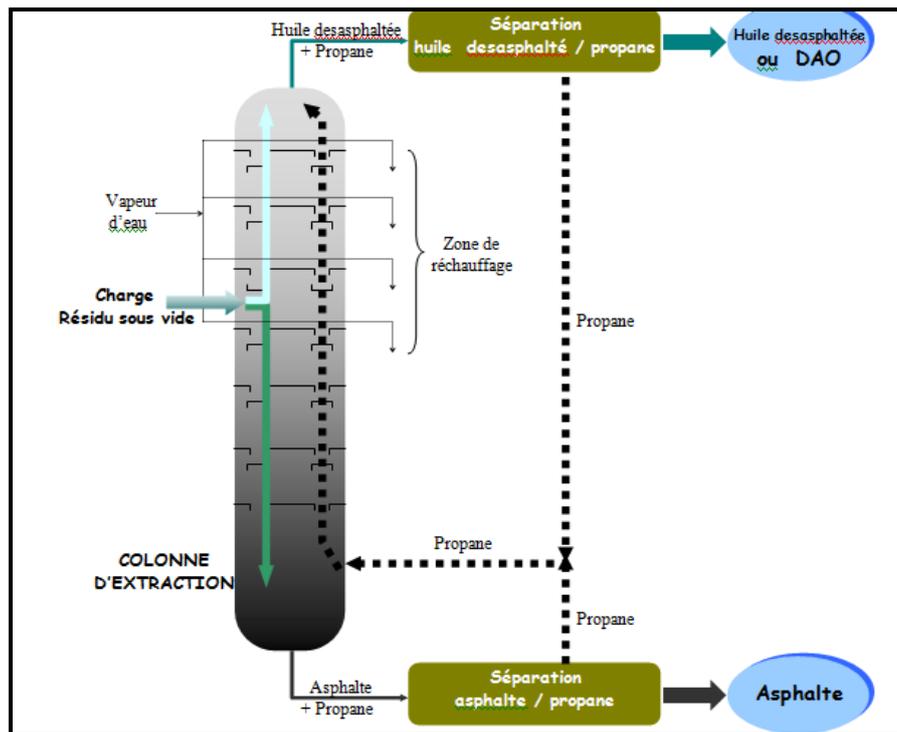


Figure III-1: Désasphaltage au propane (2)

III.3 Procédé de Désasphaltage au propane :

III.3.1 Structure de la charge :

La charge de l'unité de Désasphaltage est constituée par un mélange d'overflash et de résidu sous vide, qui est considéré comme un système colloïdal de composés à haut poids moléculaire, classés en trois familles :

III.3.1.1 Milieu huileux :

Le milieu huileux est la phase la plus légère des résidus et inclut les composés paraffiniques, cycloparaffiniques et aromatiques légers. Ces molécules sont typiquement constituées de 50 atomes de carbone et incluent des atomes de soufre et d'azote, à l'exclusion des métaux. (14)

III.3.1.2 Les résines :

Les résines ont une structure moléculaire faite de composés aromatiques condensés à longues chaînes cycloaliphatiques assurant leur solubilité dans le milieu huileux. Ces molécules sont typiquement constituées de 100 atomes de carbone et incluent des atomes de soufre, azote, nickel et vanadium. (14)

III.3.1.3 Les asphaltes :

Les asphaltes ont une structure aromatique très condensée, de forme plane, incluent entre 6 et 20 cycles aromatique. Ils incluent des atomes de soufre, d'azote et de métaux (nickel et vanadium).

Les chaînes latérales des asphaltes sont trop petites (peptisés) pour assurer la solubilité des asphaltènes dans le milieu huileux, de sorte qu'ils se présentent sous la forme de petites particules. Pour cela, le résidu sous vide est généralement stable. (14)

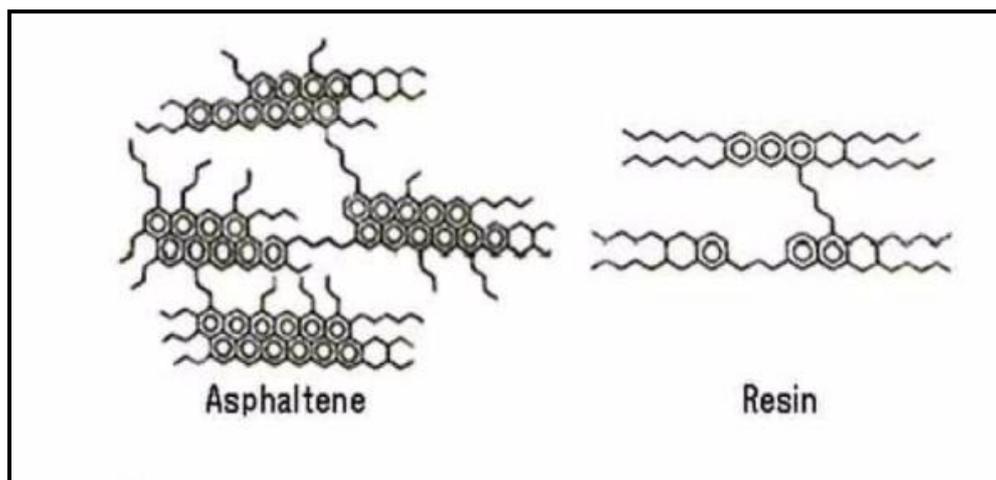


Figure III-2: La structure chimique des asphaltènes et des résines (2)

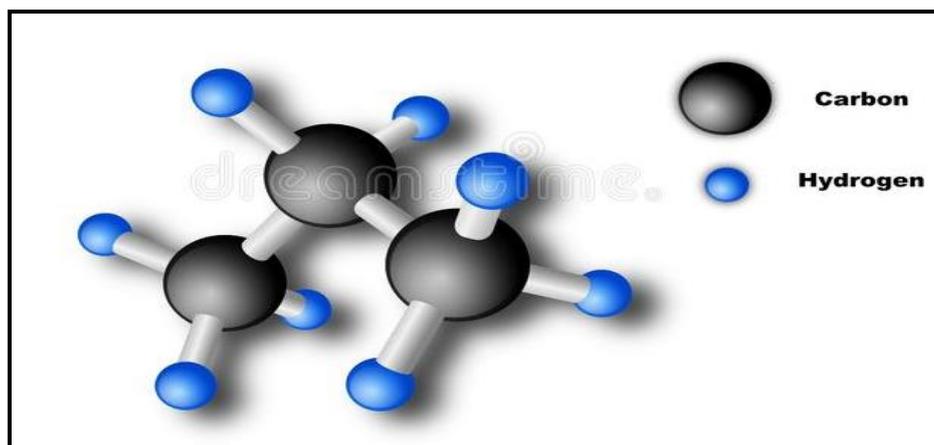
III.3.2 Les caractéristiques de solvant :

Le propane (C_3H_8) est un gaz combustible incolore et inodore, qui est souvent utilisé comme source d'énergie dans les applications industrielles résidentielles et commerciales. Il est facilement liquéfié sous pression, ce qui le rend facile à stocker et à transporter. Le propane est également connu sous le nom de gaz de pétrole liquéfié (GPL), car il est souvent produit à partir de la transformation du pétrole brut. Mais il est important de noter que le propane est un gaz inflammable, et doit donc être manipulé avec précaution.

Ainsi, butane et pentane présentent un pouvoir solvant des résines molles et dures, alors que l'éthane précipite non seulement asphaltènes et résines mais aussi une fraction importante de l'huile. Le propane alors est adapté à la production des huiles lubrifiantes. (14)

Tableau III-1: Les caractéristiques de propane C_3H_8

Caractéristiques	Propane (C_3H_8)
Point d'ébullition °C	-42
Température critique °C	96,8
Densité Kg/l	0,581
Masse molaire g/mol	44,09

**Figure III-3:** la structure chimique de propane (22)

III.3.2.1 La sélectivité de solvant :

La sélectivité de solvant se réfère à la capacité de solvant à dissoudre sélectivement les asphaltènes et les résines lourds, elle dépend généralement de la polarité du solvant et des molécules à dissoudre. La sélectivité de solvant peut également dépendre d'autres facteurs tels que la taille et la forme des molécules, la température et la pression.

III.3.2.2 Le pouvoir solvant :

Le pouvoir solvant fait référence à la quantité de propane nécessaire pour traiter 1Kg de résidu sous vide, il dépend de plusieurs facteurs tels que sa polarité, sa capacité à former des liaisons hydrogène ainsi la viscosité de résidu sous vide.

III.3.3 Principe de fonctionnement de l'extraction liquide-liquide :

Le processus d'extraction est résumé en trois opérations unitaires. A savoir :

III.3.3.1 Précipitation de la phase asphaltique :

La précipitation des asphaltes consiste à rompre l'équilibre existant au sein de système colloïdal entre le milieu malténique et la phase asphaltique. Les variables influençant sur la précipitation sont :

- La nature de solvant ;
- Le taux de solvant ;
- Le gradient de température ;

La section de précipitation est constituée de deux zones :

- Une zone de pré dilution, en amont de l'extracteur pour diminuer la viscosité de la charge à l'approche de la saturation ;
- Une zone d'entrée de charge dans l'extracteur, où s'effectue la séparation entre l'huile et le brai, au contact de la fraction solvant ; (14)

III.3.3.2 Dérésinage de l'asphalte :

Le dérésinage consiste à créer un reflux interne permettant d'améliorer la séparation entre le milieu l'huileux et les résines.

Le mélange (solvant-huile) est chauffée en tête de l'extracteur par des serpentins à vapeur, sous l'effet de l'accroissement de température les fractions résiniques sont précipitées et descendent au fond de l'extracteur, où le contre-courant ascendant du mélange (solvant-huile) redissout à plus faible température les fractions résiniques les plus légères. Le gradient de température imposé en zone de dérésinage permet de maintenir ce cycle de précipitation-redissolution.

Le design de la zone de dérésinage doit respecter :

- Un temps de résidence minimal du milieu : solvant+huile+résines ;
- Une vitesse ascensionnelle maximale du mélange (solvant-huile) pour permettre la décantation des petites particules résiniques ; (14)

III.3.3.3 La décantation de l'asphalte :

La décantation de l'asphalte consiste à laver l'émulsion d'asphalte dans le mélange (solvant-huile) par le solvant pur. L'épuisement de l'asphalte est favorisé par :

- Une augmentation du taux solvant (remplacement de l'environnement (solvant-huile par un environnement solvant pur) ;
- Une basse température possible pour augmenter la densité du solvant ; (14)

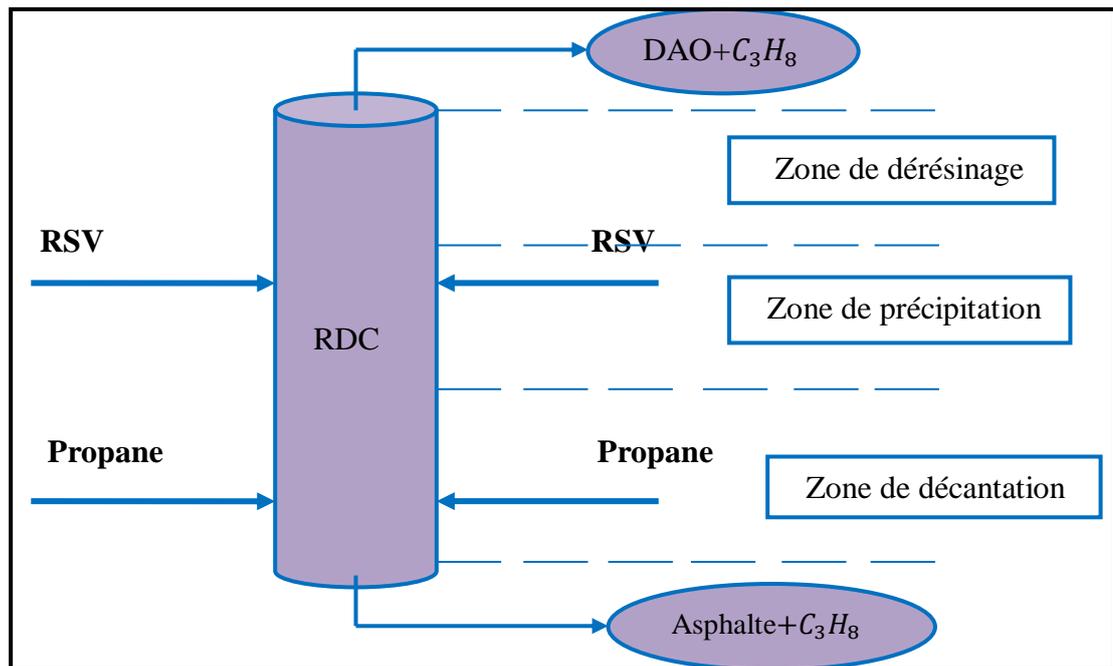


Figure III-4: les zones de fonctionnement de l'extracteur

III.3.4 Les variables opératoires principaux de procédé :

III.3.4.1 Nature de la charge :

La nature de la charge et sa composition ajuste le rendement et la qualité de l'huile désasphaltée, et ainsi de l'asphalte.

Pour les mêmes conditions opératoires, l'accroissement de la teneur en fractions légères du résidu sous vide conduit à un accroissement du rendement en l'huile désasphaltée en améliorant sa qualité (la viscosité et la couleur). Et donc, une charge riche en fractions lourdes conduit à une augmentation du rendement de l'asphalte au détriment de la diminution du rendement en DAO. (14)

III.3.4.2 Nature de solvant :

Le choix du solvant de Désasphaltage constitue une étape primordiale pour réaliser une extraction efficace. Le solvant détermine largement le rendement et la qualité de la phase l'huileux extraite.

Les gaz de pétrole liquéfiés aux températures et pressions ambiantes, précipitent tous plus ou moins l'asphalte des résidus sous vide, mais de manière très diverse.

L'éthane précipite non seulement l'asphalte, mais aussi une bonne partie de l'huile. Le pentane et le butane n'en précipitant l'asphalte au contraire pas assez et ils retiennent en dissolution une grande partie des résines neutres qui n'en pas leur place dans les huiles lubrifiantes.

Par contre, le propane précipite bien sélectivement la matière asphaltique et résiniques. Il a également une propriété intéressante pour le Désasphaltage. Il dissout mieux en effet, aux températures moyennes (40 à 50°C) les hydrocarbures paraffiniques que ceux des autres séries. (14)

III.3.4.3 Taux de solvant :

La sélectivité de l'opération de Désasphaltage peut être significativement améliorée par une augmentation du taux de solvant, c'est la principale variable permettant d'améliorer la qualité de l'huile.

L'augmentation de la proportion de propane par rapport au résidu sous vide accroît le rendement en l'huile désasphaltée, et par conséquent le poids moléculaire, la densité et la viscosité de l'huile augmente, ainsi que son carbone Conradson. Alors l'indice de viscosité (VI) de l'huile diminue légèrement.

Nous constatons qu'au-dessus d'une proportion donnée (propane-résidu sous vide), le propane dissout de plus en plus l'huile non paraffiniques, ce qui conduit simultanément à un durcissement de l'asphalte (accroissement significatif du point de ramollissement du brai). (14)

III.3.4.4 Température d'extraction :

L'effet de la température opératoire sur la sélectivité de l'extraction résulte de l'évolution du pouvoir solvant, alors qu'une augmentation de la température entraîne une diminution de la tension superficielle du solvant.

Ainsi, l'accroissement de la température opératoire conduit à un ramollissement de brai et à un allègement de l'huile désasphaltée, dont le rendement décroît.

Le comportement du propane lorsque la température monte, est très différent de celui des solvants usuels tels que le furfural, le phénol, Etc. le propane au-dessus de 40°C, leur pouvoir solvant pour les huiles diminue au fur, cela tient à ce que le propane en se rapprochant de sa température critique (96,8°C), où il retrouve progressivement ses propriétés de gaz, et alors sa tension superficielle diminue, ce qui entraînent généralement une diminution des rendements en huile désasphaltée. Cela s'accompagne de la diminution de la viscosité et de la plage de poids moléculaire de l'huile désasphaltée.

En général, le contrôle du procédé peut devenir difficile lorsque des changements rapides de température se produisent, en particulier près de la région critique, car dans des conditions proches du point critique, le taux de variation de la solubilité est très important. La limite supérieure est de rester en dessous de la température critique tout en maintenant le rendement souhaité d'huile désasphaltée et un fonctionnement stable. (14)

III.3.4.5 Gradient de température :

Le gradient de température est le paramètre principal pour le contrôle de la qualité. L'augmentation de la température de tête résulte en un produit plus léger, dont le rendement et la viscosité de l'huile désasphaltée diminue, ce qui conduit à un durcissement de l'asphalte. L'augmentation de la température de fond décroît la solubilité des composants lourds et entraîne une augmentation du rendement en asphalte.

Alors, l'optimisation de la sélectivité d'extraction conduit à adopter un gradient de température tels que :

- La zone de dérésinage : nous recommandons un écart $T^{\circ}\text{C Sommet}-T^{\circ}\text{C charge}$ supérieure à 20°C ;
- La zone de décantation : nous recommandons un écart $T^{\circ}\text{C charge}-T^{\circ}\text{C fond}$ inférieure à 5°C (la température soit proche de celle de la charge) ; (14)

III.3.4.6 Autres variables :

- ❖ **Pression opératoire :** le Désasphaltage s'effectue à une pression légèrement supérieure à la des vapeurs saturées de propane liquéfiée, afin d'éviter une évaporation éventuelle du solvant (supérieurs à la pression critique de solvant 45,96 bar) ;
- ❖ **Solvant de pré dilution :** le pré dilution est un moyen efficace pour réduire la viscosité de la charge et approcher sa saturation, et alors la viscosité de DAO diminue ;
- ❖ **Débit de charge :** le débit de charge affecte les rendements et qualités des produits lorsqu'on dépasse la capacité maximale de l'extracteur (engorgement) ;
- ❖ **Vitesse de rotation du rotor :** pour une bonne dispersion de la charge ; (17)

Tableau III-2: les variables opératoires de Désasphaltage au propane (14)

Paramètres	Actions sur le paramètre	Rendement du DAO	La viscosité	La couleur
Taux de solvant	↗	↗	↗	↗
Température de tête	↗	↘	↘	↘
Température de fond	↗	↘	↘	↘
Température de solvant	↗	↘	↘	↘
Vitesse de rotation RDC	↗	↗	↗	↗

III.3.5 Description de l'unité de Désasphaltage :

Nous fournissons une description détaillée de l'unité industrielle se Désasphaltage au propane destinée à la fabrication du Bright stock et des bitumes.

III.3.5.1 Equipements principaux :

III.3.5.1.1 Colonne d'extraction (RDC) :

La colonne d'extraction est l'équipement le plus important dans l'unité ce Désasphaltage au propane. Le contacteur à disque rotatifs (RDC) est le type le plus utilisé à l'échelle industrielle, comme le cas de la raffinerie d'Arzew.

La colonne d'extraction est caractérisée par une efficacité de traitement élevée et une bonne souplesse d'utilisation qui est assurée par la variation de la vitesse de rotation des disques.

La colonne d'extraction est garnie par des plaques circulaires appelées rotors, montées sur un arbre central, et des anneaux périphériques appelés stators fixés sur la virole, qui sont interposés entre les rotors. Les dimensions et le nombre de ces éléments sont obtenus à partir des essais pilotes avec une colonne de taille laboratoire.

La surface couverte par ces éléments constitue la section de contact qui assure la séparation des phases. En haut et en bas de l'extracteur, nous trouvons les zones de décantation des produits obtenues (DAO et l'asphalte).

La partie supérieure de l'extracteur est équipée par un serpentin alimenté en vapeur d'eau afin de contrôler le gradient de température.

Les limites supérieures et inférieures de la zone de contact (charge et solvant) sont équipés par deux grilles de tranquillisation pour stabiliser les solutions dans les zones de décantation afin de faciliter leur séparation.

L'arbre central est entraîné par un moteur électrique situé au sommet de la colonne, permet de varier la vitesse des rotors pour une efficacité maximale de l'opération d'extraction.

L'entrée de la charge se trouve au milieu de la colonne et celle de solvant est au-dessus de la grille inférieure.

Les produits de la procédé de Désasphaltage sont extraites à partir du sommet (DAO) et du fond (l'asphalte) de l'extracteur. (17)

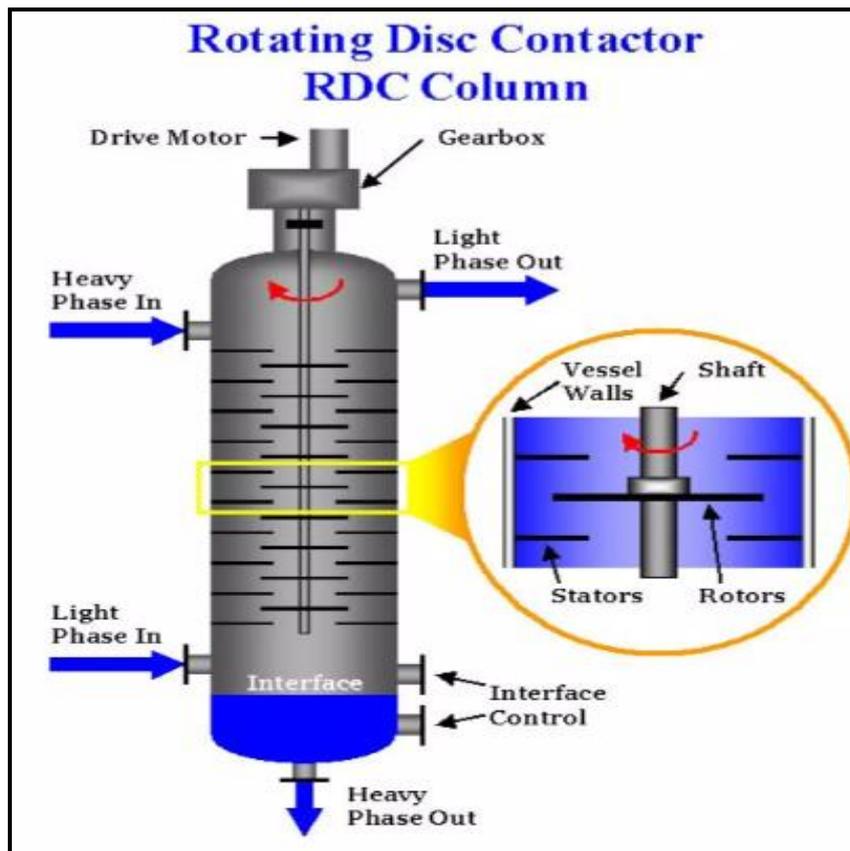


Figure III-5: schéma technologique de contacteur à disque rotatif (17)

III.3.5.1.2 Echangeurs de préchauffe :

L'échangeur est généralement utilisé pour préchauffer un fluide entrant dans un processus industriel. Alors, l'unité de Désasphaltage au propane est équipée par deux échangeurs en avant de l'extracteur afin de régler la température de solvant (propane) et celle de la charge (résidu sous vide). (17)

III.3.5.1.3 Four de préchauffage de l'asphalte :

Le four assure la récupération du solvant contenant dans l'asphalte. En effet le chauffage permet l'évaporation du propane, puis sa séparation dans une colonne de flash. (17)

III.3.5.1.4 Colonne de flash :

La colonne de flash est utilisée pour séparer un mélange liquide-vapeur en basant sur la différence de pression partielle. La baisse de pression provoque l'évaporation partielle des composants les plus volatils. Alors, l'unité de Désasphaltage est équipée par quatre colonnes de flash, deux pour assurer la récupération de solvant à partir de DAO, et les autres positionnés derrière le four. (17)

III.3.5.1.5 Aéroréfrigérants :

Le propane vapeur récupéré à partir des différents équipements est condensé dans cette batterie d'Aéroréfrigérants. (17)

III.3.6 Paramètres opératoires de la colonne d'extraction :

Les paramètres opératoires de procédé d'extraction sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III-3: Paramètres opératoires design de l'extracteur (5)

Désignation	Valeurs
Taux de solvant	15
Température d'alimentation de la charge °C	68
Température d'alimentation du solvant °C	46
Température en tête de l'extracteur °C	65-85
Vitesse du rotor, tour/min	10-50



Figure III-6: Image correspond à la colonne d'extraction "Désasphaltage au propane"

III.3.7 Description du procédé de l'unité de Désasphaltage au propane (U200) :

III.3.7.1 Principe de fonctionnement :

Le Désasphaltage au propane utilise une colonne d'extraction à disque rotatif (RDC) C201 pour mélanger les matières premières d'huile (RSV) avec le solvant (propane). Lorsqu'une colonne de fonctionnement à contre-courant est utilisée, quatre à huit volumes de propane sont introduits au bas de la colonne pour chaque volume d'alimentation introduit dans le haut de la colonne.

L'huile est plus soluble dans le propane et, par conséquent, se dissout et s'écoule vers le haut de la colonne. Les asphaltènes et la résine s'écoulent vers le fond, où ils sont éliminés dans un mélange de propane. Le propane est récupéré des deux flux à l'aide d'un système flash suivi d'un stripping à la vapeur.

La séparation de la fraction asphaltique et de la fraction huileuse désasphaltée DAO est améliorée en opérant avec un gradient de température entre le sommet et le fond de l'extracteur.

Le solvant dans la phase DAO est récupéré par un système de chauffe et de détentes successives avec finition par stripping à vapeur à basse pression.

Le solvant dans la phase asphaltique est récupéré après son passage dans le four H201 où sa température atteint 288°C, puis passe par dans un système de détentes avec finition par stripping à la vapeur.

Les flux de propane liquide sont collectés dans l'accumulateur (D201) pour être recyclés dans l'extracteur. (14)

III.3.7.2 Circuit de la charge :

Le résidu sous vide (RSV) refoulé par la pompe (P201), est envoyé vers le réfrigérant de charge (E201) pour ajuster la température de traitement. Une injection de solvant de prédilection est effectuée avant le passage dans le réfrigérant afin de réduire la viscosité de la charge.

La charge pénètre par deux entrées au milieu de l'extracteur sous contrôle de débit. (14)

III.3.7.3 Circuit du solvant :

Le propane liquide de densité de 0,508 est envoyé vers l'échangeur (E202) afin de régler sa température de traitement, puis pénètre par deux entrées dans le compartiment le plus bas de l'extracteur sous contrôle de débit.

Le rapport volumique charge/solvant dans la colonne RDC est de 1/14. (14)

III.3.7.4 Circuit de l'huile désasphaltée DAO :

Le plus grande partie du solvant se retrouve en tête de colonne avec l'huile désasphaltée.

Le mélange DAO-solvant est dirigé vers la section de récupération. Il passe dans l'échangeur (E203) où une partie de solvant est vaporisée. Le mélange bi-phasique passe ensuite dans la colonne de flash à haute pression (HP= 27bar) C202A, en tête de colonne, les vapeurs sont condensées dans une série d'échangeurs successifs et envoyées vers le système de récupération de solvant.

Les traces de solvant restantes sont éliminées dans la colonne de flash C202B à moyen pression (MP= 15bar). La DAO récupérée au fond de la colonne passe à travers de l'échangeur (E206), puis dirigée vers le stripper (C203) où les dernières traces de solvant strippées par la vapeur surchauffée à basse pression (BP= 0,3bar).

Le DAO strippé est refroidi et acheminé vers l'unité de stockage. (14)

III.3.7.5 Circuit d'asphalte :

Une petite quantité de solvant se trouve au fond de l'extracteur. Le mélange asphalte-solvant quitte le fond de l'extracteur vers le four (H201), où il sort à une température de 288°C, puis alimente la colonne de flash d'asphalte (C204) où la grande partie du solvant est séparée, condensée dans l'échangeur (E211) et dirigé vers le système de récupération de solvant.

Les traces du solvant sont strippées par la vapeur surchauffée à basse pression dans le stripeur d'asphalte (C205).

L'asphalte strippé est refroidie au moyen d'eau tempérée dans le réfrigérant et expédiée vers la zone 10. (14)

Tableau III-4: Les caractéristiques design des produits obtenus (5)

Caractéristiques	RSV	DAO	Asphalte
Densité d_4^{15}	0,940	0,900	1,07
Viscosité à 100°C (cSt)	120-130	37-39	/
Point d'éclair °C	+300	+288	/
Teneur en soufre %poids	0,29	0,11	0,23
Teneur en Conradson %poids	7,2	2	/
couleur	/	5,5-6,5	/
Indice de viscosité VI	/	82	/

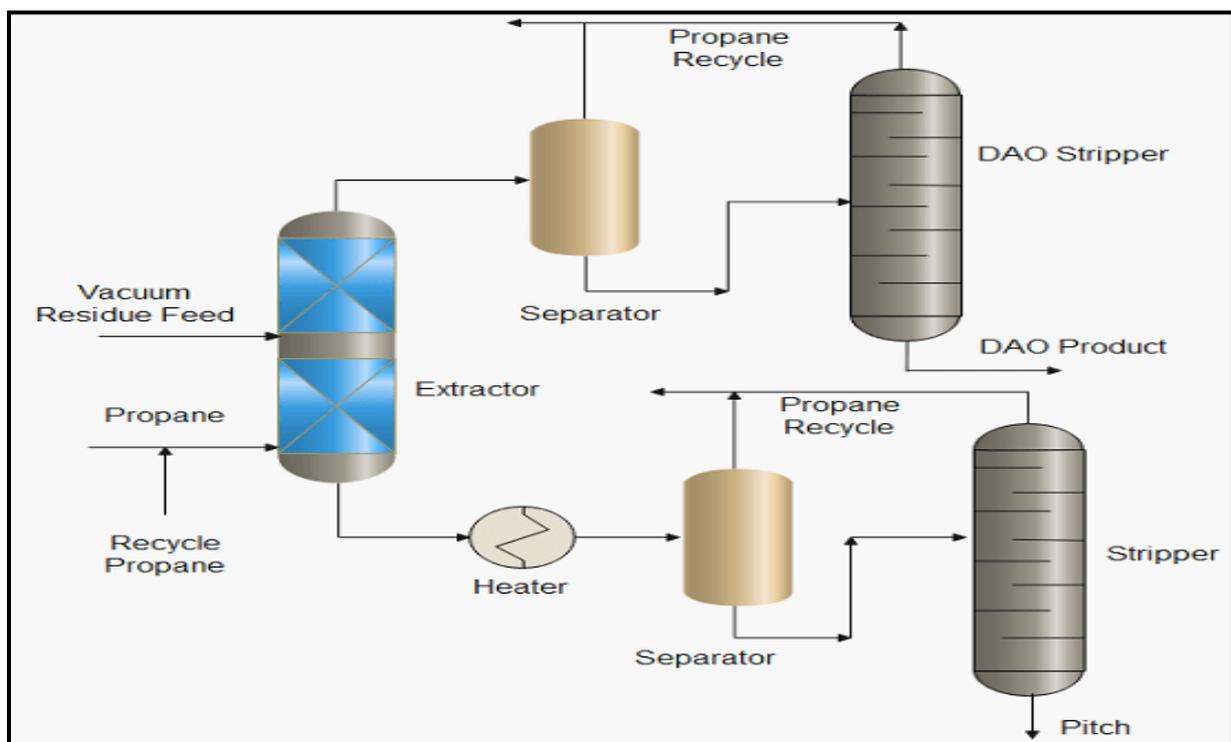


Figure III-7: Circuit de l'unité de Désasphaltage au propane (2)

III.4 Conclusion :

Le Désasphaltage est considéré comme une étape intermédiaire de raffinage, et son développement bénéficie de toutes possibilités de valorisation des fractions asphaltique et huileuses.

Valorisations des fractions huileuses :

- Production des huiles lubrifiantes à haute viscosité (Bright-stock).
- Préparation de charge de craquage catalytique et ainsi de l'hydrocraquage.

Valorisation des fractions asphaltique :

- Utilisation comme constituants de fuels industriels.
- Fabrication de bitumes routiers et oxydé.

L'unité de Désasphaltage au propane est prévue de traiter une charge de 382t/j de résidus sous vide du brut de Hassi-Messaoud, produit 69% de l'huile désasphaltée et 31% de l'asphalte.

Chapitre IV
Généralités sur les fours

IV.1 Introduction :

Les fours préchauffant sont des équipements essentiels dans l'industrie pétrolière, utilisés pour chauffer des fluides tels que naphta, l'huile ou d'eau avant leur traitement ultérieur. Ces fours sont généralement utilisés dans les raffineries de pétrole, les usines de production de gaz et les installations de traitement de l'eau.

Les fours sont importants pour l'efficacité des processus de production pétrolière et gazière, car ils permettent de réduire le temps et l'énergie nécessaires pour chauffer les fluides avant leurs traitements. En matière de réchauffage dans les productions industrielles, les applications portant sur les fours industriels sont multiples et diffèrent (18). Les applications les plus courantes :

- Polymérisation ;
- Etuvage ;
- Séchage ;
- Traitement thermique ;
- Affinage ;
- Préchauffage ;
- Durcissement ;

Alors, les usages de fours sont multiples mais chaque cas nécessite une étude particulière dans le but de concevoir le four le plus économique et le mieux adapté aux conditions imposées.

IV.2 Rôles des fours tubulaires dans l'industrie pétrolière :

L'apport de l'énergie thermique requise par les procédés de transformation se fait par l'intermédiaire des fours à chauffage direct, dans lesquels l'énergie produite par la combustion est transmise directement au fluide à réchauffer qui circule dans un serpentin tubulaire ou un faisceau de tubes. Selon l'effet de l'apport de chaleur au fluide, on distingue :

IV.2.1 Les fours de réchauffage sans changement de phase :

Dans lesquels la charge liquide ou vapeur à réchauffer ne reçoit que la chaleur sensible (provoque une hausse de température de fluide sans changement de sa phase). Par exemple, le cas des fours des unités de reformage catalytique, la charge à l'état gazeux est portée à la température nécessaire au déroulement des réactions chimiques sur le lit catalytique. (18)

IV.2.2 Les fours de réchauffage de liquide avec vaporisation partielle :

Dans lesquels la charge reçoit de la chaleur latente pour atteindre le degré de vaporisation requis. Par exemple, le cas des fours des unités de distillation : four de distillation atmosphérique ou distillation sous vide. (18)

IV.2.3 Les fours de réchauffage avec réaction chimique :

Dans lesquels le faisceau tubulaire du four peut être assimilé à un véritable réacteur chimique (un catalyseur est déposé à l'intérieur des tubes du faisceau). Par exemple, le cas des fours des unités de craquage thermique des distillats, de vapocraquage et certains procédés catalytique comme le reformage à la vapeur. (18)

IV.3 Construction des fours :

Les fours sont composés de :

- Un faisceau tubulaire à l'intérieur desquels circule le fluide à chauffer ;
- Un équipement de chauffe comprenant des brûleurs fournissant la chaleur par combustion d'un mélange de combustible et d'air, situés à la base de la chambre de combustion ;
- Une cheminée garnie avec registre, pour l'évacuation des fumées dans l'atmosphère ;
- Une enveloppe (casing), sorte de boîte dans laquelle sont confinée la flamme et les fumées chaudes ;
- Des ventilateurs pour l'alimentation en air et l'extraction des fumées ;
- Une charpente métallique : ou l'enveloppe qui support les charges et assure l'étanchéité ;
- Les accessoires divers tels que : souffleurs de suie éventuels, portes d'explosion, analyseurs d'oxygène...etc.

Le transfert thermique de la flamme ou les fumées chaudes vers le fluide se fait soit :

- Par radiation (pour les températures de fumées $> 700^{\circ}\text{C}$;
- Par convection (pour les températures de fumées $< 1000^{\circ}\text{C}$; (18)

IV.3.1 Zone de radiation :

C'est une enceinte métallique dont les parois intérieures sont protégées par des matériaux réfractaires isolants. Elle est de forme cylindrique verticale ou parallélépipédique, encore appelés fours cabine.

Le fluide véhiculant dans des tubes Les tubes véhiculant le fluide procédé sont disposés en une succession formant un assemblage parfois appelé serpent.

Le transfert thermique est ici obtenu par rayonnement entre la masse gazeuse des fumées contenues dans cette chambre de combustion, ainsi que les parois de cette chambre et le fluide circulant dans les tubes. (18)

IV.3.2 Zone de convection :

Les fumées provenant de la zone de radiation sont conduites vers une zone dite de convection pour en récupérer la chaleur sensible. A ce niveau de température, le transfert thermique par radiation devient négligeable.

Les tubes sont ici groupés en blocs compacts pour augmenter la vitesse des fumées et favoriser le transfert thermique par convection.

La zone de convection a pour but de préchauffer le fluide (une différence de 100°C entre fumées chaudes et fluide froid) avant d'être surchauffé en zone de radiation, pour éviter le choc thermique qui provoque des pertes et ainsi l'endommagement des matériaux (fissuration des tubes). (18)

IV.4 Les principaux types de fours :

Les fours sont caractérisés par la forme de la chambre de combustion et la disposition de la zone de convection. On peut classer les fours en deux grandes catégories :

- Les fours où les tubes de la zone de radiation sont horizontaux ;
- Les fours où les tubes de la zone de radiation sont verticaux ; (18)

IV.4.1 Fours à tubes horizontaux :

Ceux ayant la chambre de combustion à une section carrée, ce sont les plus classiques. Dans ces fours le faisceau tubulaire est placé dans le plan axial du four, les brûleurs sont en général montés sur les parois latérales du four et donnent une flamme horizontale.

La zone de convection est construite immédiatement en dessus de la chambre de combustion et la cheminée montée directement sur le four. (18)

IV.4.1.1 Fours cabines :

Ce type de fours dans lequel on peut installer des tubes horizontaux d'une très grande longueur peut atteindre des puissances thermiques très élevées. La largeur de la zone de radiation est d'environ 6 m et la hauteur de 10 à 15 m ce qui conduit à disposer un grand nombre de brûleurs.

Ce type de fours est très répandu, ils sont adaptés pour les capacités moyennes ou importantes. (18)

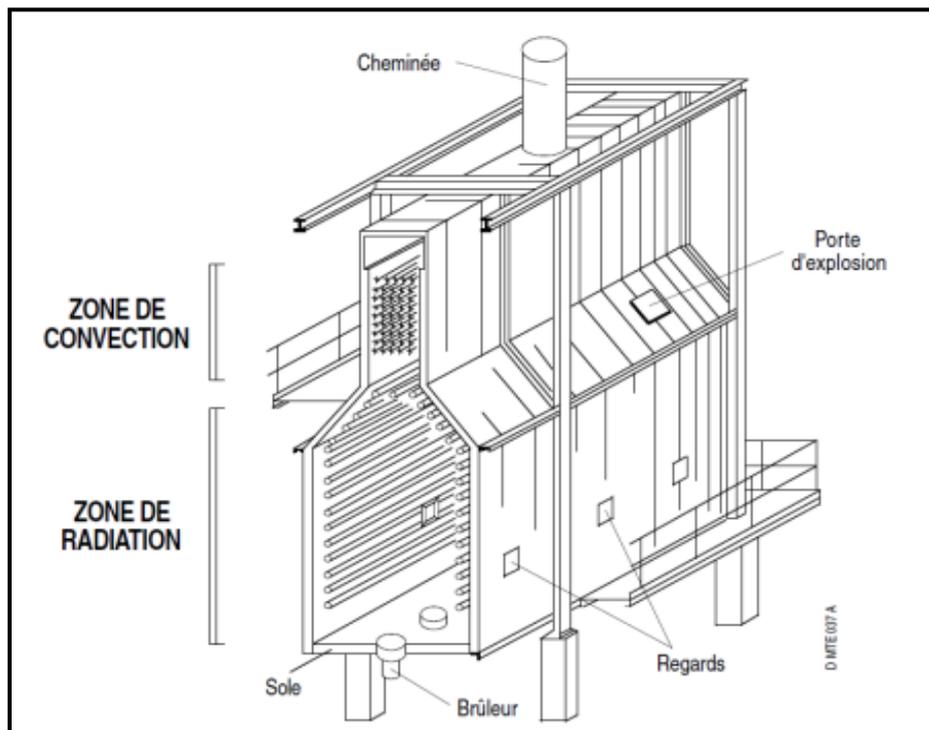


Figure IVV-1: Four cabine à tubes horizontaux (18)

IV.4.2 Fours à tubes verticaux (Cylindriques) :

Les tubes étant dans la plupart des cas circonférentielle ment le long de la paroi intérieure. Les brûleurs situés sur la sole du four. Les flammes se développent dans la zone de radiation dans laquelle les tubes sont chauffés par rayonnement. Au cours de sont trajet dans le faisceau tubulaire, le fluide parcourt successivement les zones de convection et de radiation.

Les fours cylindriques verticaux sont caractérisés d'un point de vue géométrique par un axe de symétrie vertical, pour un four équipé d'un seul brûleur situé dans l'axe du four. Pour obtenir une puissance thermique élevée, plusieurs brûleurs sont nécessaires, ceux-ci sont disposés sur un cercle centré sur l'axe du four.

Ces fours utilisés pour toutes les capacités, adoptés pour la combustion du fuel et du gaz. (18)

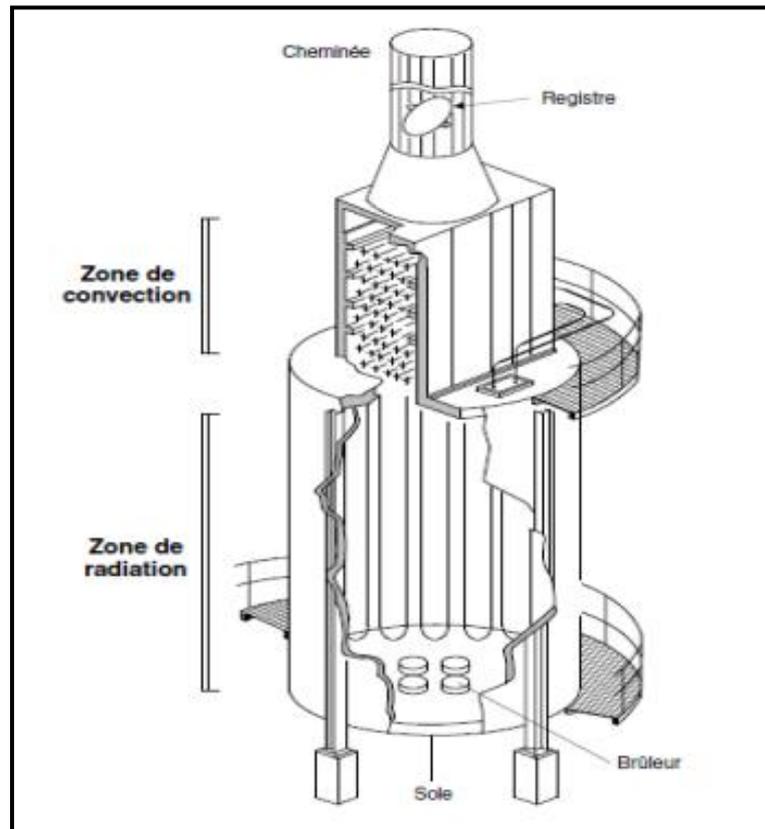


Figure IV-2: Four cylindrique à tubes verticaux (18)

IV.5 Critères de choix d'un four :

Les principaux critères sont :

- Caractéristiques chimiques du fluide ;
- Conditions de service (température, pression, pertes de charge..) ;
- Flexibilité imposée ;
- Emplacement disponible dans l'unité ;
- Coût de l'investissement ;
- Coût d'exploitation ;
- Types de combustibles ; (18)

IV.6 Rendement de fours :

Le rendement d'un four est défini comme étant le rapport du débit de chaleur absorbée ($Q_{absorbée}$) par le fluide procédé au débit de chaleur fourni ($Q_{entrée}$) au four par la combustion. Mais ce débit de chaleur libérée par la combustion n'est pas intégralement transmis au fluide à réchauffer, on constate en effet des pertes thermique :

- Les pertes par les parois : (Q_{parois}) dues aux imperfections de l'isolation thermique, elles représentent 1 à 2 % de la chaleur libérée. ;
- Les pertes par les fumées : ($Q_{fumées}$) qui évacuent à l'atmosphère un débit de chaleur important entre 5 et 20% de la chaleur libérée. ;

Les pertes de chaleur les plus importantes sont celles dues au rejet à la cheminée des fumées chaudes. Celles-ci sont le résultat de deux facteurs ; le débit de fumée et leur température. Le débit de fumée s'accroît avec l'excès d'air. Il y'a donc lieu de fonctionner avec un excès d'air aussi faible que possible. (18)

Le bilan thermique de four :

$$Q_{entrée} = Q_{absorbée} + Q_{fumées} + Q_{parois}$$

Alors, l'expression de rendement devient :

$$\eta(\%) = \frac{Q_{entrée} - Q_{fumée} - Q_{parois}}{Q_{entrée}} \times 100$$

IV.7 Excès d'air :

Pour une combustion complète, sans présence de monoxyde de carbone (CO) dans les fumées sortant du four, il est nécessaire d'introduire dans le four une quantité d'aire supérieure à celle strictement nécessaire à la combustion. Cette quantité est l'excès d'aire exprimée en % de la quantité d'air thermique.

En effet, l'excès d'air qui est inutile à la combustion, est réchauffé au cours de son passage dans les fours à la température des fumées, ce qui constitué une perte supplémentaire. Il y a donc intérêt à réduire l'excès d'air au minimum, sans descendre au-dessous d'une limite

raisonnable, car l'apparition de CO réduit considérablement la quantité de chaleur dégagée par la combustion et rendre nécessaire d'augmenter la quantité de combustible. (18)

IV.8 La combustion dans le four :

La combustion dans les fours pétroliers se fait dans une chambre appelée également zone de rayonnement. La combustion est une réaction chimique entre le combustible et l'oxygène de l'air, ses principales caractéristiques sont les quantités respectives de combustible et d'air ainsi que la quantité de chaleur dégagée.

La combustion se fait suivant les équations de réaction classique avec un excès d'air variant de 10 à 40%. (18)

IV.8.1 Réaction de combustion :

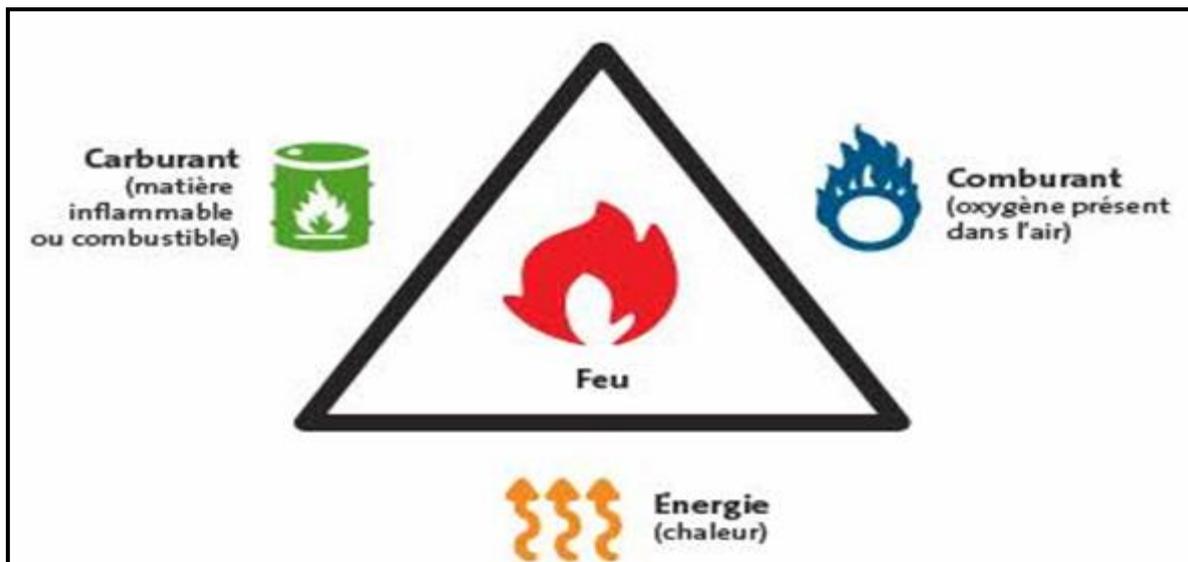
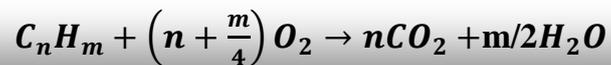


Figure IV-I-3: Triangle de feu (18)

IV.8.2 Chaleur de combustion :

Les réactions chimiques de combustion conduisent à un dégagement de chaleur plus ou moins important. Pour quantifier cela, les chimistes ont été amenés la chaleur de réaction qui est la quantité de chaleur libérée par la combustion d'une mole de combustible.

La combustion à lieu à la pression atmosphérique normale avec le combustible, l'oxygène, les fumées pris à la température initiale 0°C, et l'eau produite par la combustion est totalement condensée.

Le pouvoir calorifique est la traduction industrielle de la chaleur de combustion, pour les combustibles contenant de l'hydrogène on distingue un pouvoir calorifique inférieur (PCI) et supérieur (PCS). (18)

IV.8.2.1 Le pouvoir calorifique inférieur :

Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) est la quantité de chaleur dégagée par la combustion à pression atmosphérique de 1Kg de combustible à la température de 0°C, exprimée en Kcal. Avec l'eau produit est supposée à l'état vapeur. (18)

IV.8.2.2 Le pouvoir calorifique supérieur :

Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) est la quantité de chaleur dégagée par la combustion de 1Kg de combustible dans les mêmes conditions que le (PCI), exprimée en Kcal. Avec l'eau produit est condensée. (18)

IV.8.3 Le combustible :

Les raffineries utilisent habituellement un combustible gazeux appelé fuel-gaz qui est constitué à partie d'effluents gazeux souvent difficiles à valoriser provenant des différentes unités de fabrications.

Le fuel-gaz est constitué essentiellement par des hydrocarbures légers de C_1 à C_5 dont les proportions et la nature chimiques (paraffiniques ou oléfinique) dépendant également des unités productrices, on trouve aussi des impuretés comme l' H_2S , l'azote et l'oxyde de carbone.

Le pouvoir calorifique inférieur de fuel-gaz est de (2575 Kcal/Nm³), particulièrement bas.



Figure IV-I-4: Image correspond au four H201 "cylindrique"

IV.9 Conclusion :

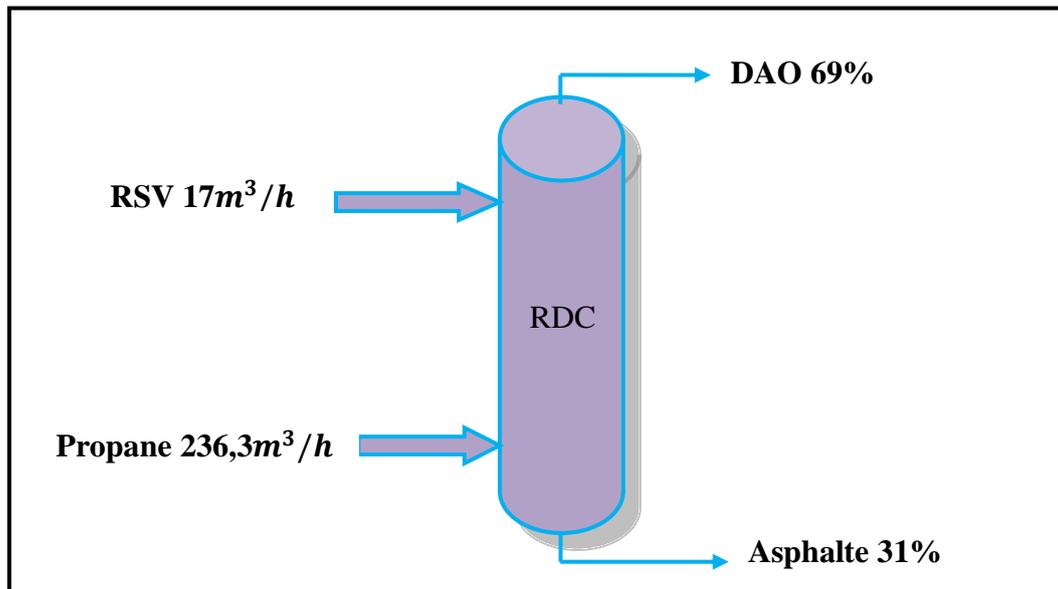
Les fours préchauffant sont des équipements essentiels pour de nombreux processus industriels, car ils permettent d'augmenter l'efficacité et la productivité tout en réduisant les coûts de production.

Cependant, leur utilisation peut avoir des impacts environnementaux importants, tels que la production, de gaz à effet de serre et de polluants atmosphérique. Il est donc important que les entreprises utilisant ces équipements cherchent constamment à améliorer leurs efficacités énergétiques et à réduire leur impact environnemental.

Chapitre V
Partie calcule

V.1 Problématique :

Le processus de Désasphaltage, accomplie dans une colonne d'extraction liquide-liquide menu par un disque rotatif tourne à 10-50 tr/ min, qui est conçue pour recevoir une alimentation de 382 t/j en résidus sous vide. Le rendement en huile désasphaltée (DAO) est de 69% et 30% en asphalte. Selon le schéma suivent :



L'huile désasphaltée de l'unité 200 est envoyée vers l'unité 300 de l'extraction des aromatiques au furfural et puis vers l'unité de déparaffinage au Mec/toluène et Pour des raisons économiques, ces unités souhaiteraient baisser la quantité de solvant (soit le furfural, soit le Mec/toluène) consommée, et cette diminution ne serait possible que si la viscosité de la DAO varier entre 37-39 cSt selon le design. Et bien entendu, cette baisse de viscosité garantie une meilleure qualité de l'huile DAO produite.

Mais la diminution de la viscosité affecte le rendement en Asphalte qui va augmenter de 31 à 45%, ce qui aura pour conséquence, une diminution du rendement de la DAO de 69% à 55%.

Donc l'augmentation de la charge à l'entrée du four qui est de l'ordre de 45% nécessite impérativement une augmentation de la quantité de fuel gaz consommée pour la combustion, donc il est nécessaire de diminuer, dans ce cas-là, le débit en résidu sous vide entrant dans la colonne RDC qui correspond à un taux de charge de 75-85%.

D'autre part, auparavant, les ingénieurs utilisaient le brut réduit importé (BRI) pour la fabrication des bitumes. Mais actuellement ils sont arrêtés l'importation de brut réduit et

utiliser le mélange asphalte + l'extrait des aromatique comme une charge alternative. Donc ils sont obligés de fabriquer l'asphalte.

L'étude se base essentiellement sur le calcul de la colonne RDC et du four dans le cas design et dans le cas actuel, afin de trouver une solution permettre à l'unité 200 de fonctionner avec une charge de 100% et alors améliorer le rendement de l'unité.

V.2 Introduction :

Dans la première partie nous aborderons la problématique par une étude de fonctionnement de la colonne RDC. On étudiera la relation et l'influence des différents paramètres opératoires et physiques tels que le taux de solvant, et le gradient de température sur le rendement du DAO et de l'asphalte, ainsi la qualité de l'huile désasphaltée.

V.3 Bilan de matière :

V.3.1 Les paramètres de design :

Le tableau au dessous représente le bilan matière obtenues à partir du manuel opératoire du constructeur, dans le cas design.

Tableau V-1: Les paramètres design de l'unité de Désasphaltage au propane U200 (5)

Entrée			sortie	
Produits	RSV	Propane C_3H_8	DAO	Asphalte
Q (t/j)	382	3046	264	118
Densité d_4^{25}	0,9400	0,5	0,9000	1,07
Viscosité à 100 °C (cSt)	120-130	/	38-40	108
η (%)	/	/	69	31

L'unité 200 fonctionne selon les paramètres du design avec un débit de $17 \text{ m}^3/\text{h}$ de RSV et un rapport RSV/propane=1/14 avec $1 \text{ m}^3/\text{h}$ de solvant pour le pré dilution.

V.3.2 Conditions opératoires :

Tableau V-2: Les conditions opératoires de procédé de Désasphaltage au propane (5)

	La charge RSV	Propane	Le sommet	Le fond
T (°C)	68	46	65-85	46-50

V.3.3 Composition du solvant (propane C_3H_8) :

Tableau V-3: Les compositions de propane C_3H_8

Volume (%)		
Constituants	Design	Actuel
Ethane léger	3,0 max	0,32
Propane	95,0	99,00
Butane	2,0 max	0,68
Totale		100
Densité d_4^{25}		0,508

V.4 Contrôle de quantité et qualité de l'unité 200 :

On s'est intéressé à l'étude du fonctionnement de la colonne RDC, et à la vérification de la qualité et le rendement de l'huile DAO et de l'asphalte.

V.4.1 Calcul de taux de charge :

Le bilan de matière se fait sur la base des relevés des niveaux des Bacs de stockage. Ces niveaux ont été relevés pendant 24 heures.

Le taux de charge de l'unité 200 TRSV est calculé comme suit :

$$\text{TRSV} = \frac{Q_{\text{RSV}}}{Q_{\text{design}}} \times 100$$

Avec :

Q_{RSV} : Débit d'entrée de résidu sous vide (t/j) ;

Q_{design} : Débit du design de RSV est égal à 382 (t/j) ;

V.4.1.1 Calcul de débit en (t/j) :

On a: $\rho_{eau} = 1000kg/m^3$

Donc :

$\rho = d \times 1000$ Avec : densité de RSV =0,9400

Donc :

$\rho = 940 \frac{kg}{m^3} = 0,94 t/m^3$ Car : 1 tonne =1000kg

Exemple de cas design

$$Q_{RSV} = 17 \frac{m^3}{h} \times 0,94 \frac{t}{m^3} \times 24 \frac{h}{1j} = 382 t/j$$

V.4.1.2 Les résultats des calculs :

Tableau V-4: Le débit de RSV pour le cas design et le cas actuel e le taux de charge pendant la période de 22/02/2023 au 08/03/2023.

Dates de mois fév-mars 2023	Débit RSV (t/j)		Débit RSV (m^3/h)		Taux de charge (%)
	Design	Actuel	Design	Actuel	
22	382	287	17	12,49	75,13
23	382	287	17	12,50	75,13
24	382	286	17	12,48	74,9
25	382	285	17	12,52	74,6
26	382	286	17	12,52	74,9
27	382	285,5	17	12,51	74,8
28	382	285,6	17	12,50	74,8
1	382	285	17	12,46	74,61
2	382	320	17	14	83,77
3	382	309	17	13,49	80,9
4	382	309,5	17	13,49	81,02
5	382	310,2	17	13,49	81,2
6	382	308,5	17	13,49	80,81
7	382	298	17	13,01	78,01
8	382	296,5	17	12,97	77,7

Le débit de résidu sous vide variant de 12 à 14m³/h, correspondent à un taux de charge de 74 à 85 %

V.4.2 Calcul de taux de solvant :

Le taux de solvant est le rapport entre le débit du solvant et le débit de la charge. Il est donné comme suit :

$$T = \frac{Q_{\text{solvant}}}{Q_{\text{charge}}}$$

Avec :

Q_{solvant} : Débit du solvant ;

Q_{charge} : Débit du la charge ;

V.4.2.1 Les résultats des calculs :

Tableau V-5: Les valeurs de taux de solvant pour le cas design et le cas actuel

Dates de mois fév.- mars 2023	Le taux de solvant	
	Design	Actuel
22	14	11,56
23	14	11,59
24	14	11,57
25	14	11,58
26	14	11,58
27	14	11,57
28	14	11,59
1	14	11,70
2	14	10,72
3	14	10,39
4	14	10,37
5	14	10,40
6	14	10,96
7	14	10,81
8	14	10,78

La sélectivité de Désasphaltage peut être amélioré par une augmentation du taux de solvant, c'est la principale variable d'améliorer la qualité de l'huile.

D'autre part, lors on augmente le taux de solvant par rapport au la charge RSV, on favorise l'ascendant des fractions résiniques légères donc le rendement en l'huile désasphaltée augmente, mais en augmentant ainsi la viscosité et la couleur de ce dernier, et par conséquence l'indice de viscosité de l'huile diminue légèrement.

Lorsque le débit en propane diminue, Le rapport propane sur charge étant fixe, cela implique la réduction du débit de la charge traitée et donc du taux de marche de l'unité.

Donc les résultats obtenue montrent que le taux de solvant prend des valeurs instables et inférieurs à celle de design ce qui influence négativement à la sélectivité de l'opération de Désasphaltage

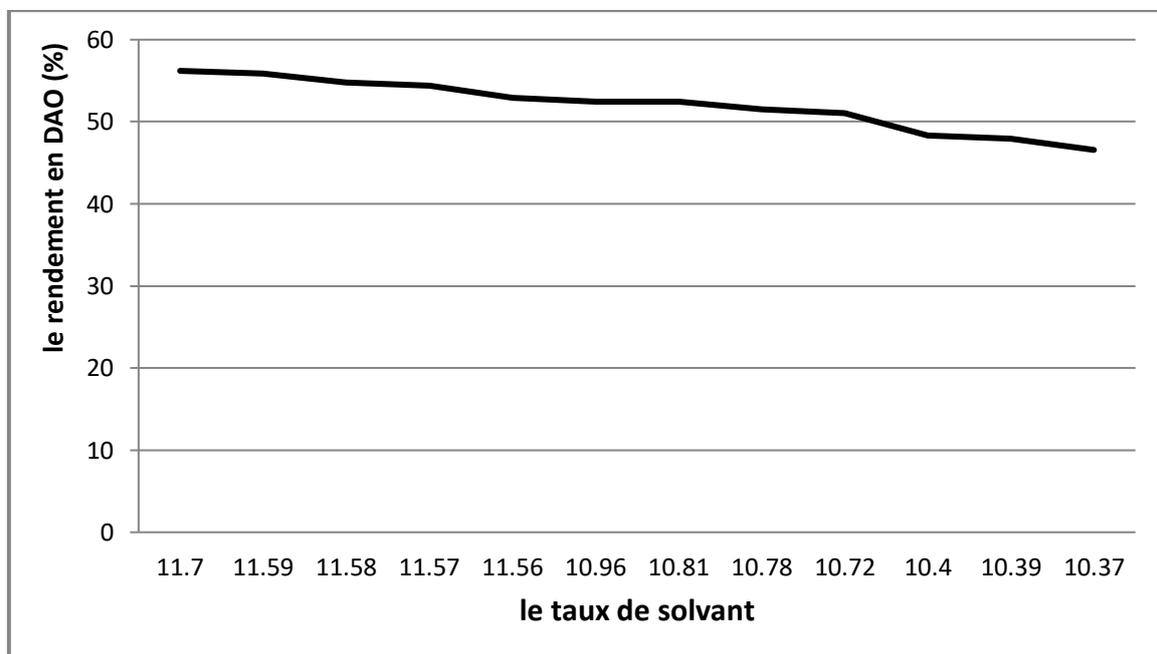


Figure V-1: Evolution de rendement en DAO en fonction du taux de solvant

V.4.3 Influence de la température de tête et de fond du RDC :

Les valeurs des températures relevées au niveau du RDC sont rassemblées dans le tableau en dessous :

Tableau V-6: Les valeurs de température de fond et de tête au niveau du RDC

Dates de mois fév.- mars 2023	La température en (°C)			
	De tête		De fond	
	Design	Actuel	Design	Actuel
22	65-85	71,43	46-50	49,43
23	65-85	71,73	46-50	44,54
24	65-85	71,01	46-50	45,37
25	65-85	71,85	46-50	45,56
26	65-85	71,44	46-50	45,27
27	65-85	71,32	46-50	45,27
28	65-85	71,70	46-50	44,82
1	65-85	71,67	46-50	44,42
2	65-85	71,72	46-50	46,79
3	65-85	73,17	46-50	46,73
4	65-85	73,96	46-50	47,23
5	65-85	74,24	46-50	47,21
6	65-85	73,98	46-50	48,80
7	65-85	73,85	46-50	49,14
8	65-85	73,45	46-50	49,73

Le mélange solvant/l'huile est chauffé en tête d'extracteur par des serpentins à vapeur afin de créer un reflux interne permettant d'améliorer la séparation entre le milieu huileux et les résines.

Sous l'effet de l'accroissement de la température de tête, les fractions résiniques sont précipitées et descendant dans l'extracteur.

Une augmentation de la température en tête résulte en un produit plus léger, donc le rendement en DAO diminue et détriment la viscosité et la couleur, ce qui conduit à un durcissement de l'asphalte.

D'autre part, l'augmentation de la température de fond décroît la solubilité des composants lourds et entraîne une augmentation du rendement en asphalte en diminuant le rendement en DAO.

V.4.4 Influence de la température de la charge RSV :

Les valeurs de température sont rassemblées dans le tableau en dessous :

Tableau V-7: Les valeurs de température de RSV pour le cas design et actuel

Dates de mois fév.- mars 2023	La température de la charge RSV en (°C)	
	Design	Actuel
22	68	94,15
23	68	95,13
24	68	94,26
25	68	93,13
26	68	92,32
27	68	92,10
28	68	92,51
1	68	92,83
2	68	92,32
3	68	92,72
4	68	93,21
5	68	93,19
6	68	91,38
7	68	90,23
8	68	88,28

On remarque que la température de la charge accuse des valeurs supérieures aux valeurs imposées par le design ce qui influe négativement sur la sélectivité de l'extraction.

L'augmentation de la température de la charge RSV, provoque une augmentation de la température de solvant (propane) et le rapproche de sa température critique (96,4) où il retrouve progressivement ses propriétés de gaz, donc sa tension superficielle diminue ainsi que son pouvoir solvant. Et par conséquent une diminution de rendement en DAO. Donc la température de la charge RSV doit être proche à celle de solvant (propane).

V.4.5 Calcul du rendement de DAO :

Le rendement de l'huile désasphaltée est calculé comme suit :

$$\eta(\%) = \frac{Q_{DAO}}{Q_{RSV}}$$

Avec :

Q_{DAO} : Débit sortie de l'huile désasphaltée DAO ;

Q_{RSV} : Débit d'entrée de résidu sous vide ;

Tableau V-8: Le rendement de DAO pour le cas design et le cas actuel

Dates mois fév- mars 2023	Débit DAO (t/j)		Rendement DAO (%)	
	Design	Actuel	Design	Actuel
22	264	153	69	56,20
23	264	152	69	55,84
24	264	149	69	54,80
25	264	148	69	54,39
26	264	146	69	53,59
27	264	146	69	53,79
28	264	145	69	53,44
1	264	142	69	52,41
2	264	142	69	46,57
3	264	141	69	47,96
4	264	142	69	48,33
5	264	150	69	51,07
6	264	151	69	51,52
7	264	148	69	52,42
8	264	149	69	52,89

V.4.6 Calcul du rendement de l'asphalte :

$$\eta(\%) = \frac{Q_{AS}}{Q_{RSV}}$$

Avec :

Q_{DAO} : Débit sortie de l'asphalte ;

Q_{RSV} : Débit d'entrée de résidu sous ;

V.4.6.1 Résultats des calculs :

Les résultats obtenus pour la même période sont présentés dans le tableau en dessous :

Tableau V-9: Le rendement d'asphalte pour le cas design et le cas actuel

Dates mois fév- mars 2023	Débit Asphalte désigne t/j	Debit Asphalt designm3/h	Debit Asphalt actuel m3/h	Rendement asphalt (%)	
				Design	Actuel
22	118	5,27	5,47	31	43,79
23	118	5,27	5,52	31	44,16
24	118	5,27	5,64	31	45,19
25	118	5,27	5,71	31	45,60
26	118	5,27	5,81	31	46,40
27	118	5,27	5,79	31	46,28
28	118	5,27	5,82	31	46,56
1	118	5,27	5,93	31	47,59
2	118	5,27	7,48	31	53,43
3	118	5,27	7,02	31	52,04
4	118	5,27	6,97	31	51,66
5	118	5,27	6,60	31	48,92
6	118	5,27	6,54	31	48,48
7	118	5,27	6,19	31	47,57
8	118	5,27	6,11	31	47,11

Nous remarquons que le rendement en DAO est inférieur à celle de design, et alors le rendement en asphalte est supérieur à celle de design, et cela montre que la charge RSV est riche en asphalte et pauvre en l'huile, qui due effectivement au changement des paramètres de la colonne de distillation sous vide.

V.4.7 Les analyses de qualité de la DAO et la charge RSV:

Les analyses de qualité obtenue à partir de laboratoire sont rassemblées dans le tableau en dessous :

Tableau V-10: Les spécifications de la DAO et de la charge RSV pour le cas actuel

Dates mois fév- mars 2023	La charge RSV			L'huile désasphaltée DAO			
	La densité	La viscosité (cSt)	Point D'éclaire	La densité	La viscosité (cSt)	La couleur	Point D'éclaire
22	0,9580	166,9	324	0,9081	39,84	<6	298
23	0,9578	173,0	322	0,9078	38,20	<5,5	296
24	0,9581	164,6	322	0,9066	43,42	<6	312
25	0,9505	168,3	324	0,9044	43,56	<6	314
26	0,9528	172,4	320	0,9058	40,91	<6	308
27	0,9520	166,4	322	0,9040	42,97	<6	304
28	0,9522	158	320	0,9045	44,15	<6	306
1	0,9534	163,8	324	0,9058	43,71	<6	308
2	0,9543	148,3	322	0,9080	42,16	<6	298
3	0,9551	158,7	320	0,9073	41,61	<6	294
4	0,9559	162,9	322	0,9072	42,93	<6	318
5	0,9581	160,2	320	0,9072	40,55	<6	314
6	0,9530	164,2	318	0,9050	41,08	<6	300
7	0,9544	162,8	322	0,9038	40,49	<6	306
8	0,9531	148,6	324	0,9049	38,71	5,5	308

D'après les résultats obtenus nous constatons que la viscosité de la charge RSV est supérieure à celle de design ce qui due à l'augmentation de la viscosité de l'huile désasphaltée et alors la diminution de l'indice de viscosité (VI).

L'augmentation de la viscosité de la charge RSV signifie que la charge est effectivement pauvre en coupes lubrifiantes.

Généralement l'augmentation de la viscosité est due soit à la composition chimique du BRA traité, soit au changement des paramètres de la colonne de distillation sous vide.

Mais actuellement, l'augmentation de la viscosité est à cause du changement des paramètres de la colonne de distillation sous vide et l'absence de la pré-dilution, afin d'augmenté le rendement en asphalte, améliorer sa pénétration, et l'envoyé pour la fabrication des bitumes.

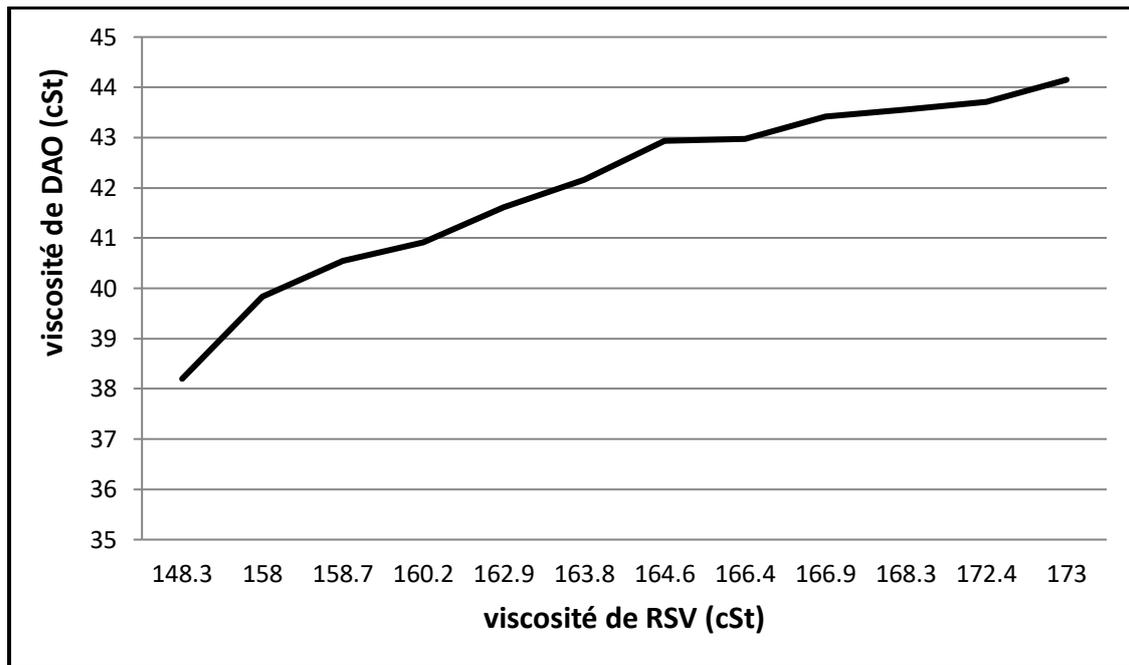


Figure V-2 : Evolution de la viscosité de DAO en fonction de viscosité de RSV

V.4.8 Impacte de la viscosité élevé de DAO :

Extraction difficile au niveau de l'unité d'extraction des aromatiques au furfural (U 300) nécessitant un taux de solvant élevé.

L'élévation de la viscosité de DAO empêche la filtration des paraffines au niveau de l'unité de déparaffinage au MEC/Toluène (U 400).

V.5 Calcule de rendement du four H201 :

V.5.1 Introduction :

Après l'extraction, on procéde à la récupération du propane dans l'asphalte qui nécessite un chauffage. Ce chauffage est assuré par un four.

Le four est conçu et dimensionné de façon à permettre le transfert vers le fluide d'une quantité de chaleur suffisante à la température voulue, pour le réchauffer et compenser les pertes.

En effet, afin d'améliorer la qualité de l'huile désasphaltée DAO, les ingénieurs de la raffinerie ont travaillé pour réduire la viscosité de ce dernier à des valeurs varier de 38 à 39 cSt, entraînant une augmentation de débit d'asphalte +propane par rapport au design, Ce qui provoque un disfonctionnement au niveau de four entraînant une diminution de la température sortie du four.

Donc Pour remédier aux problèmes précités le taux de charge de l'unité a été réduit à 74-85% pour assurer le chauffage de la charge.

V.5.2 Etude de la combustion :

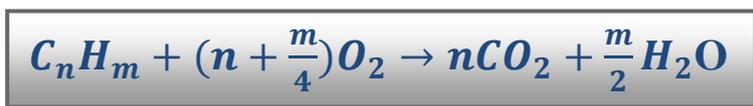
Une combustion complète est assurée par un mélange intime de l'aire et du combustible provoquer par les bruleurs.

Le combustible est le fuel gaz, il s'agit d'un mélange d'hydrocarbures (C_1-C_5).

V.5.2.1 Les réactions de combustion :

Les réactions de combustion permettent de déterminer la quantité d'oxygène. Et donc, l'air nécessaire pour la combustion ainsi que la quantité des fumées formées lors de la combustion.

Le calcul est basé sur les équations stœchiométriques de la combustion des hydrocarbures ayant la formule chimique suivante :



L'air est composer de : $N_2 = 79\%$; $O_2 = 21\%$ (pourcentage volumique)

21% de O_2 \longrightarrow 79% de N_2

1mole de O_2 \longrightarrow n moles de N_2

Donc:

$$\mathbf{n \text{ moles de } N_2 = \frac{1 \times 79}{21} = 3,76 \text{ mole}}$$

Chaque mole O₂ correspond un nombre de mole de 3,73 en N₂.

Les réactions de combustion sont :

- $H_2 + \frac{1}{2}(O_2 + 3,76 N_2) \rightarrow H_2O + 1,88 N_2$
- $CH_4 + 2(O_2 + 3,76 N_2) \rightarrow CO_2 + 2H_2O + 7,52 N_2$
- $C_2H_6 + \frac{7}{2}(O_2 + 3,76 N_2) \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O + 13,16 N_2$
- $C_3H_8 + 5(O_2 + 3,76 N_2) \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O + 18,8 N_2$
- $C_4H_{10} + \frac{13}{2}(O_2 + 3,76 N_2) \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O + 24,44 N_2$
- $C_5H_{12} + 8(O_2 + 3,76 N_2) \rightarrow 5CO_2 + 6H_2O + 30,08 N_2$

V.5.2.2 Le cas design :

Les résultats de calcul de combustion sont révéler dans les tableaux en dessous :

Tableau V-111: La composition de fuel gaz pour le cas design

Constituant de combustible	% molaire Y_i	O ₂ de la combustion Nm^3
H_2	0	0
C_1	95,19	190,38
C_2	2,99	10,465
C_3	1,22	6,1
iC_4	0,21	1,365
nC_4	0,26	1,69
iC_5	0,06	0,48
nC_5	0,07	0,56
Total	100	211,04

L'excès d'air est égal à 15 %, donc la combustion de fuel gaz est effectuée avec un taux d'excès de 31,66% en oxygène et dans les fumées nous nous retrouvons que 2,5%.

V.5.2.2.1 Compositions des fumées :

Tableau V-112: Composition des fumées pour le cas design

Constituants de combustible	Composition des fumées			
	CO_2	H_2O	O_2	N_2
H_2	/	0	/	0
C_1	95,19	190,38	/	715,83
C_2	5,98	8,97	/	39,35
C_3	3,66	4,88	/	22,94
iC_4	0,84	1,05	/	5,132
nC_4	1,04	1,3	/	6,35
iC_5	0,3	0,36	/	1,80
nC_5	0,35	0,42	/	2,11
Total	107,36	207,36	/	793,512

V.5.2.3 Le cas actuel :

Les résultats de calcul de combustion sont révéler dans les tableaux en dessous :

Tableau V-113: La composition de fuel gaz pour le cas actuel

Constituant de combustible	% molaire Y_i	O_2 de la combustion Nm^3
H_2	2,97	1,485
C_1	85,05	170,1
C_2	9,08	31,78
C_3	2,05	10,25
iC_4	0,28	1,82
nC_4	0,44	1,76
iC_5	0,06	0,48
nC_5	0,07	0,56
Total	100	218,235

Pour le cas actuel la combustion de fuel gaz est effectuée avec un taux d'excès de 32,74% en oxygène.

V.5.2.3.1 Compositions des fumées :

Tableau V-114: Composition des fumées pour le cas actuel

Constituants de combustible	Composition des fumées			
	CO_2	H_2O	O_2	N_2
H_2	/	2,97	/	5,58
C_1	85,05	170,1	/	639,58
C_2	18,16	27,24	/	119,49
C_3	6,15	8,2	/	38,54
iC_4	1,12	1,4	/	6,84
nC_4	1,76	2,2	/	10,75
iC_5	0,3	0,36	/	1,80
nC_5	0,35	0,42	/	2,11
Total	112,89	212,89	/	824,69

V.5.2.4 Calcul de la quantité totale d'oxygène :

$$Vo_2 \text{ total} = Vo_2 \text{ consommée} + Vo_2 \text{ dans l'excès d'air}$$

❖ Pour le cas design

$$Vo_2 \text{ total} = 211,04 + 31,66 = 242,696 \text{ Nm}^3$$

❖ Pour le cas actuel

$$Vo_2 \text{ total} = 218,235 + 32,74 = 250,965 \text{ Nm}^3$$

V.5.2.5 Calcul de la quantité totale de gaz inerte :

❖ Pour le cas design

$$\text{Le débit } N_2 = 242,696 \times 3,76 = 912,53 \text{ Nm}^3$$

❖ Pour le cas actuel

$$\text{Le débit } N_2 = 250,965 \times 3,76 = 943,63 \text{ Nm}^3$$

V.5.2.6 Calcul du volume total des fumées :

Le volume total des fumées est égal à la somme des volumes de tous les gaz à la sortie du four selon la formule suivante :

$$V_{\text{total}} = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{O_2 \text{ en excès}} + V_{N_2 \text{ total}}$$

❖ Pour le cas design

$$V_{total} = 107,36 + 207,36 + 31,66 + 912,53 = 1258,91 \text{ Nm}^3$$

❖ Pour le cas actuel

$$V_{total} = 112,89 + 212,89 + 32,74 + 943,63 = 1302,15 \text{ Nm}^3$$

Tableau V-115: Les résultats des calculs

Désignation	Excès d'air (Nm^3)	Quantité O_2 Total (Nm^3)	Quantité total de N_2 (Nm^3)	Total des Fumées	Nm^3 d'air pour 100 Nm^3 De gaz
Design	31,66	242,69	912,53	1258,91	1155,22
Actuel	32,74	250,96	943,63	1302,15	1194,59

V.5.2.7 Calcul de la quantité des fumées formées par la combustion de 1kg de fuel gaz :

La composition des fumées sont rassemblés dans le tableau en dessous :

Tableau V-116: La composition des fumées

Composition des fumées	CO_2	O_2	H_2O	N_2
% molaire (cas design)	8,83	2,53	16,13	72,49
%molaire (cas actuel)	7,93	2,51	17,65	71,9
Masse moléculaire (g/mole)	44	32	18	28

Pour déterminée la quantité des fumées formées par la combustion de 1 kg de gaz combustible on calcule les paramètres suivants :

V.5.2.8 La masse moléculaire des fumées :

$$M_f = \sum M_i \times Y_i = M_{\text{CO}_2} \times Y_{\text{CO}_2} + M_{\text{H}_2\text{O}} \times Y_{\text{H}_2\text{O}} + M_{\text{O}_2} \times Y_{\text{O}_2}$$

Donc :

❖ Pour le cas design

$$M_f = 44 \times 0,0883 + 32 \times 0,0253 + 18 \times 0,1613 + 28 \times 0,7249 = 27,9 \text{ kg/kmole}$$

❖ Pour le cas actuel

$$M_f = 44 \times 0,0793 + 32 \times 0,0251 + 18 \times 0,1765 + 28 \times 0,719 = 27,60 \text{ kg/kmole}$$

V.5.2.9 La masse volumique des fumées aux conditions normales (T et P) :

$$\rho_f = \frac{M_f}{22,4}$$

Sachant que, une mole de gaz occupera toujours un volume de 22,4 L dans les conditions normales ($T = 0^\circ\text{C}$; $P = 1 \text{ atm}$)

Le volume molaire d'un gaz est : $V_m = 22,4 \text{ l/mol}$

❖ Pour le cas design

$$\rho_f = \frac{27,9}{22,4} = 1,246 \text{ kg/Nm}^3$$

❖ Pour le cas actuel

$$\rho_f = \frac{27,60}{22,4} = 1,23 \text{ kg/Nm}^3$$

Tableau V-117: composition de gaz combustible

Constituants	H ₂	C ₁	C ₂	C ₃	iC ₄	nC ₄	iC ₅	nC ₅
% molaire Cas design	0	95,19	2,99	1,22	0,21	0,26	0,06	0,07
% molaire Cas actuel	2,97	85,05	9,08	2,05	0,28	0,44	0,06	0,07
M moléculaire (Kg/kmol)	2	16	30	44	58	58	72	72

V.5.2.10 La masse moléculaire du gaz combustible :

$$M_{\text{com}} = \sum M_i \times Y_i = M_{\text{H}_2} \times Y_{\text{H}_2} + M_{\text{C}_1} \times Y_{\text{C}_1} + M_{\text{C}_2} \times Y_{\text{C}_2} + M_{\text{C}_3} \times Y_{\text{C}_3} + M_{\text{iC}_4} \times Y_{\text{iC}_4} + M_{\text{nC}_4} \times Y_{\text{nC}_4} + M_{\text{iC}_5} \times Y_{\text{iC}_5} + M_{\text{nC}_5} \times Y_{\text{nC}_5}$$

❖ Pour le cas design

$$M_{\text{com}} = 2 \times 0 + 0,9519 \times 16 + 0,0299 \times 30 + 0,0122 \times 44 + 0,0021 \times 58 + 0,0026 \times 58 + 0,0006 \times 72 + 0,0007 \times 72 = \mathbf{17,0304 \text{ kg/kmol}}$$

❖ Pour le cas actuel

$$M_{\text{com}} = 2 \times 0,0297 + 0,8505 \times 16 + 0,0908 \times 30 + 0,0205 \times 44 + 0,0028 \times 58 + 0,0044 \times 58 + 0,0006 \times 72 + 0,0007 \times 72 = \mathbf{17,81 \text{ kg/kmol}}$$

V.5.2.11 Masse volumique de gaz combustible dans les conditions normales (T et P) :

$$\rho_{\text{com}} = \frac{M_{\text{com}}}{22,4}$$

❖ Pour le cas design

$$\rho_{\text{com}} = \frac{17,0304}{22,4} = \mathbf{0,7603 \text{ kg/Nm}^3}$$

❖ Pour le cas actuel

$$\rho_{\text{com}} = \frac{17,81}{22,4} = \mathbf{0,7951 \text{ kg/Nm}^3}$$

V.5.2.12 La masse des fumées pour 1kg de fuel gaz :

❖ Pour le cas design

100 Nm^3 de fuel gaz dégagent un volume des fumées : $V_f = 1258,91 \text{ Nm}^3$

Donc :

1 Nm^3 de gaz dégage un volume des fumées : $V_f = 12,5891 \text{ Nm}^3$

Donc, pour 1kg de gaz la masse des fumées :

$$m_f = \frac{\rho_f \times V_f \times m_{\text{com}}}{\rho_{\text{com}} \times m_{\text{com}}}$$

$$m_f = \frac{1,246 \times 12,5891 \times 1}{0,7603 \times 1} = 20,63 \text{ kg}$$

❖ Pour le cas actuel

100 Nm³ de fuel gaz dégagent un volume des fumées : $V_f = 1302,15 \text{ Nm}^3$

Donc :

1 Nm³ de gaz dégage un volume des fumées : $V_f = 13,0215 \text{ Nm}^3$

Donc, pour 1kg de gaz la masse des fumées :

$$m_f = \frac{1,23 \times 13,0215 \times 1}{0,7951 \times 1} = 20,14 \text{ kg}$$

Alors :

❖ Composition design : 1kg de gaz combustible dégage 20,63 kg des fumées.

❖ Composition actuel : 1kg de gaz combustible dégage 20,14 kg des fumées.

V.5.2.13 La masse d'air nécessaire pour la combustion de 1kg de fuel gaz :

❖ Pour le cas design

100 Nm³ de fuel gaz nécessitent : 1153,22 Nm³ d'air

Donc :

1Nm³ de fuel gaz nécessite : 11,5322 Nm³ d'air

Donc, la masse d'aire nécessaire

Avec : $\rho_{\text{air}} = 1,294 \text{ kg/Nm}^3$

$$m_{\text{air}} = \frac{1,294 \times 11,5322 \times 1}{0,7603 \times 1} = 19,62 \text{ Kg}$$

❖ Pour le cas actuel

100 Nm³ de fuel gaz nécessitent : 1194,59 Nm³ d'air

Donc :

1Nm³ de fuel gaz nécessite : 11,9459 Nm³ d'air

Donc, la masse d'aire nécessaire :

$$m_{\text{air}} = \frac{1,294 \times 11,9459 \times 1}{0,7951 \times 1} = 19,44 \text{ Kg}$$

Alors :

- ❖ Composition design : 1kg de fuel gaz nécessite : **19,62 Kg**
- ❖ Composition actuel : 1kg de fuel gaz nécessite : **19,44 Kg**

Les résultats obtenus sont exposés dans le tableau en dessous :

Tableau V-118: Les résultats des calculs obtenus

Désignation	$\rho_{com}(\text{kg}/\text{Nm}^3)$	$\rho_f(\text{kg}/\text{Nm}^3)$	m_f pour 1kg de gaz	m_{air} pour 1kg de gaz
Design	0,7603	1,246	20,63	19,62
Actuel	0,7951	1,23	20,14	19,44

V.6 Calcul du rendement de four H201 :

Tableau V-119: Les paramètres de fuel gaz dans le cas design et actuel

Fuel gaz	Température (°C)	Pression (bar)	Débit m^3/h	$\rho(\text{kg}/\text{Nm}^3)$
Design	20	2,5-2,7	253	0,7603
Actuel	25	1,8-1,9	190	0,7951

V.6.1 Calcul de la quantité de chaleur totale dégagée :

$$Q_{\text{entrée}} = Q_1 + Q_2$$

V.6.1.1 Calcul de la quantité de chaleur dégagée par l'air :

$$Q_1 = Q_{\text{sen}} \times Q_{\text{com}} \times \rho_{\text{com}}$$

Avec :

Q_{com} : Débit volumique de fuel gaz

ρ_{com} : Masse volumique de fuel gaz

Q_{sen} : Chaleur sensible de l'air

Sachant que :

$$Q_{sen} = m_{air} \times Cp_{air} (T_{20} - T_0)$$

❖ Pour le cas design

$$Q_{sen} = 19,62 \times 0,242 \times (T_{20} - T_0) = 94,96 \text{ kcal/kg}$$

❖ Pour le cas actuel

$$Q_{sen} = 19,44 \times 0,242 \times (T_{25} - T_0) = 117,61 \text{ kcal/Kg}$$

Avec:

Cp_{air} : Chaleur spécifique de l'air.

Donc la chaleur dégagée par l'air :

❖ Pour le cas design

$$Q_1 = 94,96 \times 253 \times 0,7603 = 18266,116 \text{ kcal/h}$$

❖ Pour le cas actuel

$$Q_1 = 117,61 \times 190 \times 0,7951 = 17767,225 \text{ kcal/h}$$

V.6.1.2 Calcul de la quantité de chaleur dégagée par le fuel gaz :

$$Q_2 = PCI_{com} \times Q_{com}$$

Avec :

PCI_{com} : pouvoir calorifique inferieur de fuel gaz

V.6.1.3 Analyse chromatographique de fuel gaz :

La composition du gaz combustible est donnée par l'analyse chromatographique, ce dernier est rassemblé dans les tableaux en dessous :

❖ Pour le cas design

Tableau V-20: Analyse chromatographique de fuel gaz pour le cas design

Constituants de fuel gaz	(%) molaire Y_i	PCI_i (kcal/kg)	PCI_i (kcal/m ³)	PCI $PCI_i \cdot Y_i / 100$ (kcal/Nm ³)
H_2	0	28 770	2580	0
C_1	95,19	11 950	8550	8138,745
C_2	2,99	11 340	15220	455,078
C_3	1,22	11 070	21800	265,96
iC_4	0,21	10 890	28340	59,514
nC_4	0,26	10 930	28340	73,684
iC_5	0,06	10 800	34890	20,934
nC_5	0,07	10 800	34890	24,423
Total	100	/	/	9038,338

❖ Pour le cas actuel

Tableau V-21: Analyse chromatographique de fuel gaz pour le cas actuel

Constituants de fuel gaz	(%) molaire Y_i	PCI_i (kcal/kg)	PCI_i (kcal/m ³)	PCI $PCI_i \cdot Y_i / 100$ (kcal/Nm ³)
H_2	2,97	28 770	2580	76,626
C_1	85,05	11 950	8550	7271,775
C_2	9,08	11 340	15220	1381,976
C_3	2,05	11 070	21800	446,9
iC_4	0,28	10 890	28340	79,352
nC_4	0,44	10 930	28340	124,696
iC_5	0,06	10 800	34890	20,934
nC_5	0,07	10 800	34890	24,423
Total	100	/	/	9426,682

Donc :

❖ Pour le cas design

$$Q_2 = PCI_{com} \times Q_{com} = 9038,338 \times 253 = 2286699,51 \text{ kcal/h}$$

❖ Pour le cas actuel

$$Q_2 = PCI_{com} \times Q_{com} = 9426,682 \times 190 = 1791069,58 \text{ kcal/h}$$

Donc :

La quantité de chaleur totale dégagée par le combustible :

❖ Pour le cas design

$$Q_{\text{entrée}} = Q_1 + Q_2 = 18266,116 + 2286699,51 = 2304965,63 \text{ kcal/h}$$

❖ Pour le cas actuel

$$Q_{\text{entrée}} = Q_1 + Q_2 = 17767,225 + 1791069,58 = 1808836,805 \text{ kcal/h}$$

V.6.2 Calcul de perte de chaleur par les parois :

Au niveau du four les pertes sont réparties comme suit :

- En zone de radiation : 1% ;
- En zone de convection : 0,5% ;

❖ Pour le cas design

$$Q_{\text{parois}} = Q_{\text{total}} \times 0,015 = 2304965,63 \times 0,015 = 34574,48 \text{ kcal/h}$$

❖ Pour le cas actuel

$$Q_{\text{parois}} = Q_{\text{total}} \times 0,015 = 1808836,805 \times 0,015 = 27132,55 \text{ kcal/h}$$

V.6.3 Calcul de perte de chaleur par les fumées :

$$Q_{\text{fumées}} = G_{\text{fumées}} \times H_{\text{fumées}}$$

Avec :

$G_{\text{fumées}}$: débit des fumées kg/h ;

$H_{\text{fumées}}$: enthalpie des fumées kcal/kg ;

V.6.3.1 Calcul de débit des fumées :

$$G_{\text{fumées}} = Q_{\text{com}} \times \rho_{\text{com}} \times m_f$$

❖ Pour le cas design

$$G_{\text{fumées}} = Q_{\text{com}} \times \rho_{\text{com}} \times m_f = 253 \times 0,7603 \times 20,63 = 3968,30 \text{ kg/h}$$

❖ Pour le cas actuel

$$G_{\text{fumées}} = Q_{\text{com}} \times \rho_{\text{com}} \times m_f = 190 \times 0,7951 \times 20,14 = 3042,53 \text{ kg/h}$$

V.6.3.2 Calcul de l'enthalpie des fumées :

$$H_i = Cp_i \times T_{\text{fumées}}$$

Avec :

Cp_i : chaleur spécifique des constituants des fumées $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C}$

La chaleur spécifique des constituants des fumées est déterminée suivant l'annexe 1.

Donc :

$$H_{\text{fumées}} = H_i \times Y_i / 100$$

❖ Pour le cas design

Tableau V-22: Les résultats des calculs obtenus pour le cas design

Constituants des fumées	Y_i (%)	Cp_i Kcal/kg. $^\circ\text{C}$	H_i Kcal/kg	$H_{\text{fumées}}$ Kcal/kg
CO_2	8,83	0,256	171,52	15,15
O_2	2,53	0,240	160,8	4,07
H_2O	16,13	0,480	321,6	51,87
N_2	72,49	0,259	173,53	125,79
Total	100	/	/	196,88

Sachant que la température des fumées dans le cas design égal à 670°C .

❖ Pour le cas actuel

Tableau V-23: Les résultats des calculs obtenus pour le cas actuel

Constituants des fumées	Y_i (%)	Cp_i Kcal/kg.°c	H_i Kcal/kg	$H_{fumées}$ Kcal/kg
CO_2	7,93	0,256	177,92	14,11
O_2	2,51	0,240	166,8	4,18
H_2O	17,65	0,480	333,6	58,88
N_2	71,9	0,259	180	129,42
Total	100	/	/	206,59

Sachant que la température des fumées dans le cas design égal à 695C.

Donc les pertes de chaleur par les fumées :

❖ Pour le cas design

$$Q_{fumées} = G_{fumées} \times H_{fumées} = 3968,30 \times 196,88 = 781278,904 \text{ kcal/h}$$

❖ Pour le cas actuel

$$Q_{fumées} = G_{fumées} \times H_{fumées} = 3042,53 \times 206,59 = 628556,27 \text{ kcal/h}$$

V.6.4 Calcul des pertes totales :

$$Q_{pertes\ total} = Q_{parois} + Q_{fumées}$$

Donc :

❖ Pour le cas design

$$Q_{pertes\ totales} = Q_{parois} + Q_{fumées} = 34574,48 + 781278,904 = 815853,384 \text{ kcal/h}$$

❖ Pour le cas actuel

$$Q_{pertes\ totales} = Q_{parois} + Q_{fumées} = 27132,55 + 628556,27 = 655688,82 \text{ kcal/h}$$

Donc le rendement de four H201:

$$\eta(\%) = \frac{Q_{entrée} - Q_{pertes\ totales}}{Q_{entrée}} \times 100$$

❖ Pour le cas design

$$\eta(\%) = \frac{2304965,63 - 815853,384}{2304965,63} \times 100 = 65,04 \%$$

❖ Pour le cas actuel

$$\eta(\%) = \frac{1808836,805 - 655688,82}{1808836,805} \times 100 = 63,75 \%$$

Tableau V-24: Le bilan thermique de four H201

Désignation	Chaleur fournie par la combustion	Chaleur perdue par les parois	Chaleur perdue par les fumées	Le rendement de four (%)
Cas design Kcal/h	2304965,63	34574,48	781278,904	65,04
Cas actuel Kcal/h	1808836,805	27132,55	628556,27	63,75

V.7 Interprétations des résultats :

Tableau V-25: Les paramètres de four H201

Désignation	T_e (°C)	T_s (°C)	T_f (°C)	T_{is} (°C)	$Q_{FG} m^3/h$	Q_{AS+C_3}	η (%)
Cas design	46	288	670	355	253	10,5-11	65,04
Cas actuel	50	250	695	390	195à210	7-8,5	63,75

On remarque que le rendement du four actuellement est de 63,75% , donc on peut dire il est acceptable pour un taux de charge de 75 à 85%, et il est en bonne performance.

Mais nous constatons que une grande quantité de fuel gaz à été consommé vu les normes pour chauffer un débit de charge varie de 8 à 9,5 m^3/h , entrainant une augmentation de la température des fumées et des parois par rapport au design. Donc cela signifie que il est fatiguant pour le four de traitée une grande quantité d'asphalte+ C_3H_8 .

Ceci explique l'existence d'un problème dans le four H201 qui nous empêche d'augmenter le taux de charge à 100%. Car lorsque on augmente le taux charge , le débit de fuel gaz augmente, ainsi la pression (high limite = 2,5 bar) , donc le four peut se déclancher.

V.8 L'évolution de la température des parois du four en fonction de débit de fuel gaz :

Dates mois fév-mars 2023	Débit de fuel gaz m^3/h	Température des parois T_{is} ($^{\circ}C$)
22	177,51	368,55
23	194,05	377,43
24	187,50	374,69
25	186,41	376,43
26	184,36	376,30
27	187,63	379,77
28	187,23	375,43
01	183	369,89
02	184,29	380,77
03	201,14	391,52
04	193,94	375,56
05	194,39	382,31
06	193,81	390,59
07	190,16	380,37
08	186,54	378,70

D'après ces résultats obtenues nous remarquons effectivement que la température des parois augmente avec l'augmentation du débit du fuel gaz.

L'augmentation de la température des parois ($T_{is\text{ actueL}} = 390^{\circ}C$; $T_{is\text{ design}} = 355^{\circ}C$) fait apparaitre clairement la consommation importante en fuel gaz. Donc, cette valeur de température des parois et ainsi des fumées présentes un risque pour les installations notamment l'endommagement du four H201 et il est impossible de faire fonctionner l'unité à 100%.

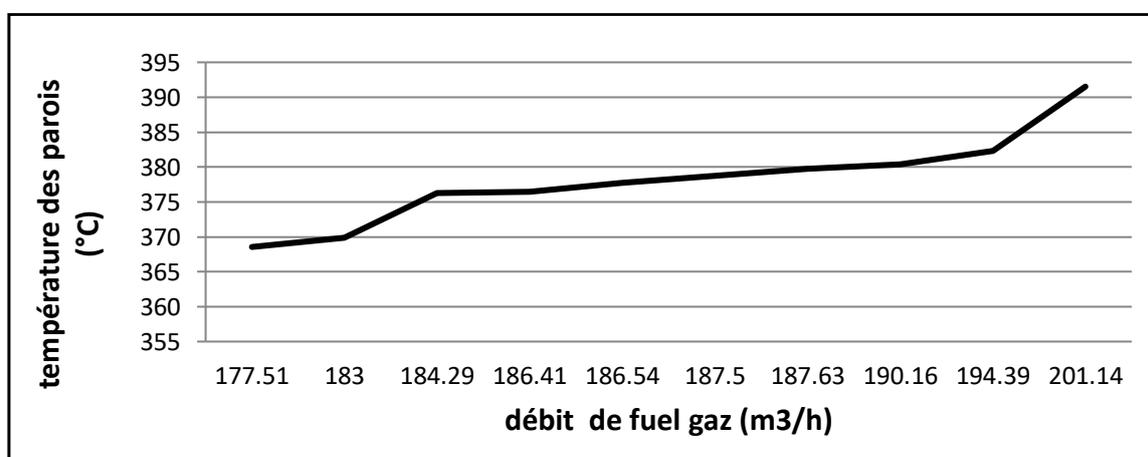


Figure V-3: Evolution de la température des parois en fonction de débit de fuel gaz

Conclusion générale et Recommandation

Conclusion générale

Le procédé de Désasphaltage au propane est une technique de raffinage pétrolier relativement efficace et constitue une étape très importante dans la chaîne de fabrication des huiles de base, elle permet l'obtention de l'huile désasphaltée DAO qui va servir avec les trois distillats (SPO, MVO et VO) pour la production d'une gamme variée des huiles finies, et l'asphalte qui est constituée une base pour la formulation des bitumes en mélangeant avec l'extrait des aromatiques.

Cependant, l'efficacité de Désasphaltage au propane dépend essentiellement des conditions opératoires telles que la température d'extraction et le taux de solvant. Le rendement en huile désasphaltée dépend également de la sélectivité et du pouvoir solvant.

La qualité de l'huile désasphaltée fortement dépendant de la viscosité de la charge (RSV) et si elle est riche en fractions huileux.

L'huile désasphaltée présente une viscosité élevée qui influe sur leur qualité et également leur performance comme l'huile lubrifiant. Alors, le passage de viscosité à 37-38 cSt affecte le rendement en Asphalte qui va augmenter à 45%, et pour conséquence, une diminution du rendement de la DAO à 55%. En effet, le four H201 n'a pas la capacité de traiter cette grande quantité d'asphalte car il nécessite impérativement une augmentation de la quantité de fuel gaz consommée pour la combustion, ce qui implique une limitation de taux charge de 75 à 85%.

D'autre part, on constate une augmentation de la température des fumées et des parois par rapport au design ce qui explique la présence de coke à l'intérieur des tubes de four H201 en provoquant impérativement une dégradation de transfert de chaleur (joue le rôle d'un isolant) qui nous empêche d'augmenter le taux de charge à 100%.

Auparavant, les ingénieurs utilisaient le brut réduit importé (BRI) pour la fabrication des bitumes. Mais actuellement ils sont arrêtés l'importation de brut réduit et utilisent le mélange asphalte + l'extrait des aromatiques comme une charge alternative. Alors, c'est un bon concept dans l'industrie pétrolière sachant que le brut réduit importé est très cher, mais l'unité de Désasphaltage est conçue pour produire l'huile désasphaltée DAO comme produit de base, et donc la production d'asphalte avec une pénétration élevée influe sur la qualité de DAO en augmentant sa viscosité.

Recommandation

Afin d'améliorer le rendement de l'unité de Désasphaltage au propane et ainsi la qualité de l'huile désasphaltée DAO, on recommande des solutions qui peuvent être efficace pour résoudre le problème (fonctionnement de l'unité avec un taux de charge RSV de 100% et avoir une DAO avec une viscosité varie entre 37 à 39 cSt) :

- ❖ Régler les paramètres opératoires de la colonne d'extraction tels que la température d'alimentation, le gradient de température et le taux de solvant qui ont été grandement affectés sur le rendement et la qualité de l'huile désasphaltée (la couleur et la viscosité).
- ❖ Diminuer la viscosité de la charge RSV (respectant le design) en changeant les paramètres de la colonne de distillation sous vide pour que la charge soit riche en coupes lubrifiantes. Et aussi, faire une pré-dilution de la charge en amont de l'extracteur qui est un moyen efficace pour réduire sa viscosité et approcher sa saturation.
- ❖ Faire une dé-cokage pour éliminer totalement les dépôts de coke qui se dépose sur les parois intérieurs des tubes du four.
- ❖ Faire un retubage de four, ou on peut installer un échangeur en avant afin aider le four à atteindre la température désirée.
- ❖ Prendre également en considération la composition de combustible (fuel gaz).

Bibliographie

Bibliographie

1. historique et présentation de la raffinerie d'ARZEW .
2. amélioration de rendement et de la qualité de désasphaltage . **souheyla, DAHROUR.** mémoire de fin d'étude : s.n., génie chimique, 2019.
3. situation de complexe, direction technique, complexe RA1Z, activité aval . sonatrach, 2001.
4. documentation raffinerie d'ARZEW.
5. manuel opératoire, RA1Z. **Wheeler, F.**
6. manuelle opératoire laboratoire.
7. documentation raffinerie d'ARZEW, département sécurité industrielle, HSE.
8. Petroleum Refining, Technology and Economics. **James H.Gary, Glenn E. Handwerk, Mark J.Kaiser.**
9. le raffinage de pétrole, produits pétroliers, Tome 1, 1994. **WAUQUIER, J. PIERRE.**
10. raffinage et génie chimique, Tome 2, 2eme édition . **WUITHIER, PIERRE.** paris : s.n., 1972.
11. <http://www.ilocis.org/fr/documents/ILO078.htm>.
12. cours de raffinage, les huiles lubrifiantes . **MIMOUN, Pr. Hadj.** université de boumerdes : s.n.
13. <https://www.huiles-vidange-minerale.com/>
14. <https://www.techniques-ingenieur.fr/principaux-types-d-additifs-pour-lubrifiant>
15. Pétrole brut, produit pétroliers, schéma de fabrication, Tome 1. **WAUQUIER, J-P.** 1994.
16. Essai d'élaboration et analyse physico-chimique d'un lubrifiant pour moteur thermique . **Ariel, NSIBATCHEU KAMTAN.** l'obtention du diplôme de professeur d'enseignement technique et professionnel
17. <https://www.techniques-ingenieur.fr/caracteristiques-superficielles>
18. <http://leslubrifiants.unblog.fr/-classification-des-huiles-moteur->
19. Etude du rendement de l'unité de désasphaltage au propane . **AMINE, Mr. DJELABET HADJ MOHAMED FAROUK ET Mr. LEKKAM OUASSIM MOHAMED.** oran : s.n., pétrochimie, 2016.
20. Raffinage de pétrole, procédé de séparation, Tome 2. **WAUQUIER, J-P.** paris : s.n., 1998.
21. Petroleum Refining, Technology and Economics. **James H.Gray, E. Handwerk, Mark J.Kaiser.**
22. la-structure-chimique-de-propane
23. séminaire, exploitation des fours dans l'industrie pétrolière . **M.TOUIKER.** IAP, 2008.

Annexes

Annexe n°1

Point de ramollissement : terme utilisé pour décrire la température à laquelle un matériau devient ramolli ou mou. Ce point détermine les propriétés physiques des matériaux tels que les bitumes et les graisses.

La pénétration : est une mesure utilisée pour évaluer la consistance ou la dureté d'un matériau bitumineux, tel que l'asphalte utilisé dans la construction de routes. Un asphalte plus dur peut être plus résistant à l'usure.

La tension superficielle : est une force qui agit à la surface d'un liquide, créant une sorte de peau qui tend à minimiser la surface libre exposée. Cette force est due à la différence de forces attractives entre les molécules de liquide à la surface et celles situées en dessous, exprimé en (N/m).

La teneur en Conradson : est la quantité de résidus carbonés laissés après la combustion, elle est mesurée en pourcentage de la masse totale de l'échantillon. Une teneur en Conradson élevée peut réduire la qualité des produits pétroliers, leur viscosité et leur point d'écoulement.

La chaleur sensible : se réfère à l'énergie thermique échangée qui modifie la température d'un matériau sans changer son état physique (absorbe ou libère la chaleur).

La chaleur latente : est souvent plus élevée que la chaleur sensible pour une substance donnée, ce qui signifie qu'elle nécessite plus d'énergie pour provoquer un changement d'état que pour modifier simplement la température.

Le point d'ébullition : est la température à laquelle un liquide commence à se vaporiser et à passer à l'état gazeux. A cette température spécifique, la pression de vapeur du liquide devient égale à la pression atmosphérique. Il est mesuré en degrés Celsius (°C) ou en kelvin (K).

Annexe n°2

Description du procédé de dé-cokage air –vapeur du four H 201 :

Le procédé consiste à nettoyer les dépôts de coke et de sels à l'intérieure des tubes de four par admission de la vapeur et de l'air dans les tubes. Le dé-cokage air-vapeur est composé de deux phases :

- Phase de D'ECAILLAGE ;
- Phase de COMBUSTION ;

❖ Phase de phase d'écaillage :

Durant cette phase on admet la vapeur MP dans les tubes à un débit qu'on aura déterminé en fonction du diamètre de ces derniers tout en chauffant graduellement le four.

On distingue lors de cette phase deux phénomènes :

❖ Phénomène physique :

Sous l'effet de la vitesse de la température et de l'humidité de la vapeur, les dépôts de coke se contractent, se détachent du tube et ainsi entraînés vers l'extérieur.

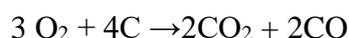
❖ Phénomène chimique :

Une réaction chimique est engendrée sous l'effet de la vapeur introduite dans les tubes. Cette réaction renforce le nettoyage par la vapeur, elle agit uniquement sur le coke.



❖ Phase de combustion:

Cette phase est caractérisée par une réaction chimique du coke avec l'oxygène de l'air introduit simultanément avec la vapeur à l'intérieur des tubes.



Annexe n°3

Triangle de feu :

Le combustible : C'est la matière de base de forme initiale solide, liquide ou gazeuse qui, une fois la réaction amorcée, continue en dégageant une notable quantité de chaleur, à s'unir à l'oxygène.

Le combustible émet des vapeurs ou des gaz qui, eux seuls, sont inflammables. Donc en pratique, seuls les gaz brûlent.

Le comburant : En pratique, un seul comburant est à considérer : c'est l'oxygène contenu dans l'air. Composition de l'air : Azote (N₂) : 78 %, Oxygène (O₂) : 21 %, Gaz rares : 1 %. D'autres comburants peuvent attiser le feu tel que l'eau oxygénée, l'acide nitrique, le chlore...

L'énergie d'activation : C'est l'énergie nécessaire et suffisante au déclenchement et au maintien de la combustion. Elle peut être thermique, chimique, biologique, mécanique, électrique...

Le Feu : On appelle « feu » l'oxydation rapide accompagnée de chaleur et de lumière d'intensité variable.

