



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : **GÉNIE DES PROCÉDÉS**

Option: **GÉNIE CHIMIQUE**

THÈME

**Control du taux de fonctionnement actuel du four
H101 de la raffinerie d'Arzew**

Présentées par

1-BAHAR NAWAL

2-BAHAR SIHAM

Soutenu le 22 /09 / 2024 devant le jury composé de :

Président :	BENDANIA S.	Pr	Université de Mostaganem
Examineur :	BELHADJI K.A.	MCA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	TERKHI M.C.	MCA	Université de Mostaganem

Remerciements

Nous remercions lieu ALLAH tout puissant de nous avoir accordé la puissance et la volonté pour achever ce travail.

Je souhaite encore dire un très grand merci à mon encadrement

Dr. TERKHI Med Cherif pour sa participation et ses conseils prodiges à la réalisation de ce travail.

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

J'adresse aussi mes remerciements à tous les enseignants de la faculté également au personnel du département de génie des procédés et tous les employés de la raffinerie d'Arzew.

Nous remercions notre rapporteur du complexe RA1/Z Mr. HELLAL Abdelkader pour les efforts, le courage et les idées durant ce stage.

Nos vifs remerciements s'adressent également au personnel de la raffinerie en particulier Mr. ZAHAF Lahbib et Mr. REZALI Malik les personnes de la salle du contrôle de la zone 5 et département technique chacun sans nom.

ET finalement, nous remercions nos parents, nos sœurs, mes frères qui nous ont soutenus en période de ce stage.

BAHAR NAWAL

BAHAR SIHAM

Dedicace

Tout d'abord, c'est grâce à Dieu seul que j'en suis arrivée là.

Je dédie ce travail modeste à mes chers parents qui m'ont encouragée à donner le meilleur de moi-même, et qui m'ont fourni les moyens d'être ce que je suis aujourd'hui.

Je le dédie également à mes frères et ainsi qu'à mon mari Amine, leur souhaitant à tous une carrière pleine de succès. Que Dieu les garde tous.

À ma chère amie et sœur Dalila, et à tous les êtres chers à mon cœur.

Nawal Bahar

Dedicace

Tout d'abord, je voudrais remercier Dieu pour le succès que j'ai réussi à remplir ce mémoire.

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

Je le dédie aussi à mes soeurs et mes frères, ma famille et mon mari M. Moudetere

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus

De succès.

Une carrière pleine de succès. Que dieu les garde tous.

Siham Bahar

Résumé

Dans ce travail, nous présentons une étude de calcul du rendement actuel du four H101 (zone 5) de la fabrication des huiles de base en le comparant avec le design. D'après les résultats obtenus, on remarque que le rendement actuel du four H101 est égal à 60% avec une quantité de chaleur totale libre QT de 7980498.6kcal/h, par contre pour le cas du design le rendement est de 80% qui correspond à une quantité de chaleur totale libre QT égale à 19967.36 kcal/h. Par conséquent, on constate que le rendement de four H101 dans le cas calculé est inférieur à celui du design. Dans le but de résoudre ce problème de diminution du rendement, on propose essentiellement : (i) Surveiller régulièrement la composition du gaz combustible en effectuant des analyses périodiques (ii) Procéder à un décokage régulière afin d'éliminer les dépôts sur les faisceaux (iii) Changement d'échangeur de chaleur à faisceau et calandre (iv) Nettoyage régulier des colonnes de distillation sous vide.

Mots clés

Four H101, Raffinerie R1AZ, Huiles de base, Rendement de four, Chauffage.

Abstrac

In this work, we present a study of the efficiency of furnace H101 for the real case and compare it with the design case for zone 5 of base oil manufacturing. According to the calculations performed, it is observed that the efficiency of furnace H101 is 60% with a total free heat quantity (QT) of 7,980,498.6 kcal/h, whereas for the design case, the efficiency is 80%, corresponding to a total free heat quantity (QT) of 19,967.36 kcal/h. Consequently, it is noted that the efficiency of furnace H101 in the calculated case is lower than in the design case. To address this reduction problem, we propose the following essential measures: (i) regularly monitor the analysis of the fuel gas composition, (ii) perform periodic decoking to remove deposits on the bundles, (iii) install a new shell and tube heat exchanger, and (iv) regularly clean the vacuum distillation columns.

Keywords

Furnace H101, R1AZ refinery complex, base oils, furnace performance, zone 5.

ملخص

في هذا العمل، نقدم دراسة عن كفاءة الفرن H101 للحالة الواقعية ونقارنها بالحالة التصميمية للمنطقة 5 من صناعة زيوت الأساس. بناءً على الحسابات التي أجريت، نلاحظ أن كفاءة الفرن H101 تساوي 60% مع كمية إجمالية من الحرارة الحرة تبلغ 7,980,498.6 كيلو كالوري/ساعة، بينما في الحالة التصميمية تكون الكفاءة 80%، مما يعادل كمية إجمالية من الحرارة الحرة QT تبلغ 19,967.36 كيلو كالوري/ساعة. وبالتالي، نلاحظ أن كفاءة الفرن H101 في الحالة المحسوبة أقل من الحالة التصميمية. لحل مشكلة الانخفاض هذه، نقترح الإجراءات التالية (i) مراقبة تحليل مكونات الغاز الوقودي بانتظام، (ii) القيام بإزالة الكوك بشكل

دوري للتخلص من الترسبات على الحزم، (iii) تركيب مبدل حراري جديد من نوع الحزمة والمهد، و (iv) التنظيف المنتظم لأعمدة التقطير تحت التفريغ.

الكلمات المفتاحية

مجمع، مصفاة RA1Z، الفرن H101، الزيوت الأساسية مردود الفرن المنطقة 5.

Liste des abréviations

RA1Z: Raffinerie d'Arzew

JGC: Japan Gasoline Company

BRA: Brut Réduit Atmosphérique

BRI : Brut Réduit Importé

GPL : Gaz Pétrole Liquéfié

VGO: Vacuum Gasoil

RSV: Résidu Sous Vide

SPO: Spindle Oil

SAE 10 : mi-visqueuse

SAE 30 : visqueuse

SAE : Society of Automotive Engineers

DAO : De-Asphalted Oil

MEC/Toluène : Méthyle, Ethyle, Cétone/Toluène

LRSN : Light straight Rum Naphta

RDC : Rotating Disc Contactor

BS : Bright Stock

HP : Haute Pression

BP : Basse Pression

HB3 : Huile de Base 3

HB4 : Huile de Base 4

Nomenclature

V_{O_2} : Quantité d'oxygène (Nm³) ;

V_{H_2O} : Quantité d'eau (Nm³) ;

V_{CO_2} : Quantité d'oxyde carbone (Nm³) ;

V_{N_2} : Quantité du gaz inerte (Nm³) ;

Q_{N_2} : Débit du gaz inerte (Nm³) ;

PCI: Pouvoir calorifique inférieur (kcal/Nm³) ;

Y_1 : Pourcentage molaire du gaz combustible (ù%) ;

V_a : Volume d'aire (Nm³) ;

M_f : Masse moléculaire des fumées (kg/mole) ;

ρ_f : Masse volumique des fumées (kg/Nm³) ;

V_f : Volume des fumées (Nm³) ;

M_{com} : Masse moléculaire combustible (kg/kmol) ;

ρ_{com} : Masse volumique combustible (kg/Nm³) ;

V_{com} : Volume du combustible (Nm³) ;

m_f : Masse des fumées (kg) ;

ρ_{air} :Masse volumique d'air (kg/Nm³) ;

m_{air} :Quantité d'air ;

V_{air} : Volume d'air (Nm³) ;

\dot{m}_{com} : Débit volumique du fuel gaz ;

Q_{sen} : Chaleur sensible de l'air (kcal/h) ;

Q_1 : Chaleur dégagée par l'air (kcal/h) ;

Q_2 :Chaleur dégagée par combustible (kcal/h) ;

$Q_{entrée}$: Quantité de chaleur totale dégagée par le combustible (kcal/h) ;

CP_{air} : Chaleur spécifique de l'air (kcal/kg. °C) ;

Q_{parois} : Quantité de chaleur des parois (kcal/h) ;

$G_{fumées}$: Débit des fumées (kg/h) ;

$H_{fumées}$: Enthalpie des fumées (kcal/kg) ;

T_f : Température des fumées ;

CP_f : Chaleur spécifique des constituants des fumées (kcal/kg. °C) ;

Q_{pertes} : Quantité de chaleur des pertes (kcal/h) ;

η : Rendement thermique du four (%).

Table des matières

Remerciements

Dedicace

Liste des abréviations

Nomenclature

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction	1
Chapitre I :Présentation du complexe.....	3
I.1 .Historique et situation géographique du complexe	3
I.2.Mission et objectif assignés	4
I.3.Capacité de traitement du complexe [2].....	4
II.Présentation des installations de production.....	5
II.1.Département de production P1	5
II.2.Département de production P2	5
II.3.Département de production P3	6
II.4.Département de production P4	6
III.Département de sécurité industrielle	7
IV.Laboratoire de contrôle	7
Chapitre II: Les procédés de fabrication Des huiles de base (zone5).....	8
Introduction	9
I.Généralité sur lubrifiant	9
I.1.Définition de lubrifiant.....	9
I.2.Le rôle de la lubrifiant.....	10
I.3.Les tendances des huiles	10
II.Caractéristiques d'un lubrifiant	11
II.1.Définition et le rôle des additifs.....	11
II.2.Classification des huiles de base zone 5	12
II.3.Chaine de fabrication des huiles de base	13

II.4. Unités principales de la zone 5 de fabrication des huiles	14
II.4.1. Unité 100 la distillation sous vide.....	14
II.4.2. Unité 150 : Description du Système d'huile caloporteur :.....	16
II.4.3. Unité 200 Désasphaltage au propane.....	16
II.4.4. Unité 300 Extraction au furfural	17
II.4.5. Unité 400 déparaffinage au MEC/Toluène.....	18
II.4.6. Unité 500 Hydrofinishing	19
Chapitre III: les fours industriels.....	20
I. Définition	22
II. Rôle des Fours dans l'Industrie Pétrolière	22
III. Description d'un Four Industriel.....	22
IV. Principaux Types de Fours.....	23
IV.1 Fours cylindriques verticaux :.....	23
IV.2. Fours cabines.....	25
V. Choix d'un Four	26
V.1. Rendement d'un Four.....	27
Chapitre IV : Calcule de rendement du four.....	28
Problématique.....	29
LE FOUR H101	29
I. Etude de la combustion	29
I.1. Réactions de combustion.....	30
I.2. Quantité théorique d'oxygène nécessaire pour la combustion de gaz combustible..	30
I.3. Quantité théorique d'eau (H ₂ O) nécessaire pour la combustion de gaz combustible	
31	
I.4. Calcul du pouvoir calorifique inférieur du gaz combustible.....	33
II.2. Calcul de la quantité des fumées formées par la combustion de 1 Kg de gaz.....	33
II.1.2-1 Masse moléculaire des fumées	33
II.2. La masse moléculaire du gaz combustible.....	34

II.3.Masse volumique du gaz combustible dans les condition normale température et pression.....	35
II.4.La quantité de l'air nécessaire pour la combustion de 1 kg de gaz.....	35
III.3. Calcul du rendement du four H101	35
III.1.Calcul de la quantité de chaleur dégagée $Q_{\text{entrée}}$	36
III.1.1.La quantité de chaleur dégagée par le fuel de gaz est	36
III.1.2.Calcul de la quantité de chaleur dégager par la combustion	36
III.2.Calcul des pertes de chaleur par parois.....	37
III.3.Calcul les pertes de chaleur par les fumées	37
III.3.1.Calcul de l'enthalpie des fumées $H_{\text{fumées}}$	37
III.3.2.Calcul de débit des fumées $\dot{m}_{\text{fumées}}$	38
III.4.Calcul des pertes totales.....	38
IV.Comparaison entre résultat réel et design	39
Recommandation	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion	41
Bibliographie	42

Liste des figures

Figure I. 1: Situation géographique du complexe RA1Z	3
Figure I. 2: plan de masse de la raffinerie d'Arzew [3]	7
Figure II. 1: composition de l'huile lubrifiant.....	9
Figure II. 2: Chaîne de fabrication des huiles de base au niveau de la zone 5.....	14
Figure II. 3: schéma simplifié de la distillation sous vide	15
Figure II. 4 : Schéma simplifié de la boucle d'huile chaude [6].....	16
Figure II. 5: schéma simplifié du désasphaltage au propane	17
Figure II. 6: schéma simplifié de l'extraction au furfural.....	18
Figure II. 7: Schéma simplifié du déparaffinage au MEK/Toluène.....	19
Figure II. 8 : Schéma simplifié de l'hydrofinishing.....	20
Figure III. 1: Schéma descriptif des composants des fours.	23
Figure III. 2: une vue écorchée d'un four cylindrique vertical.....	24
Figure III. 3: vue d'un four cabine à tube horizontaux.....	25

Liste des tableaux

Tableau I.1: les capacités annuelles de production de la raffinerie d'Arzew	4
Tableau IV. 1: les compositions des fumée	32
Tableau IV. 2: fraction molaire de gaz combustible.....	33
Tableau IV. 3: les composition des fumées	34
Tableau IV. 4: masse moléculaire du gaz combustible.....	34
Tableau IV. 5: comparaison de fuel de gaz (réel/ design)	36
Tableau IV. 6: les caractéristiques des fumées	38
Tableau IV. 7: comparaison entre résultat réel et design	39

INTRODUCTION

Introduction

Le pétrole occupe une place prépondérante dans notre société en tant que source principale d'énergie, aux côtés du gaz naturel, ensemble responsables de plus de 50 % de la consommation énergétique mondiale (33 % pour le pétrole et 24 % pour le gaz naturel). Le raffinage vise à transformer les matières premières naturelles telles que le pétrole brut et le gaz naturel en produits finis utiles et commercialisables. Ces hydrocarbures naturels, présents en diverses quantités et compositions à travers le monde, sont transformés dans les raffineries en une gamme variée de produits :

- Des essences utilisées dans les véhicules terrestres, aériens, maritimes et autres moyens de transport.
- Des combustibles pour la génération de chaleur et d'énergie industrielle et domestique.
- Des matières premières pour les industries pétrochimiques et chimiques.
- Des produits spécialisés tels que les lubrifiants, les paraffines, la cire et le bitume.
- De l'énergie sous forme de chaleur (vapeur d'eau) et d'électricité, comme sous-produits.

Les raffineries comprennent diverses installations de traitement qui transforment le pétrole brut et le gaz naturel en ces produits variés, ainsi que des infrastructures annexes. La combinaison de ces unités de traitement forme ce que l'on appelle une raffinerie. La taille, la configuration et la complexité d'une raffinerie sont influencées par la demande du marché pour ces produits, la qualité du brut disponible et les exigences réglementaires. En conséquence, chaque raffinerie est unique, adaptée aux conditions locales et aux spécificités du marché.

L'outil du raffinage algérien constitue le patrimoine de NAFTEC, et est composé de quatre raffineries : **D'Alger ; D'Arzew ; De Skikda ; De Hassi – Messaoud.**

Pour structurer notre étude dans l'outil du raffinage algérien D'Arzew, nous avons divisé ce travail en trois chapitres principaux :

- Le premier chapitre offre une description succincte du complexe de raffinerie.
- Le deuxième chapitre aborde Les procédés de fabrication Des huiles de base (zone5) ;
- Le troisième les fours industriels, avec une vue d'ensemble générale sur leur fonctionnement ;
- Le dernier chapitre inclut une analyse spécifique du four H101, suivi d'une conclusion générale.

Chapitre I

Présentation du complexe

I.Présentation du complexe

I.1 Historique et situation géographique du complexe

La construction du complexe a été réalisée par la société japonaise « JAPAN GAZOLINE COMPANY (JGC) » en collaboration avec l'entreprise Sonatrach. La pose de la première pierre a eu lieu le 19 juin 1970. Le démarrage des unités a été à partir du mois d'Août 1972 par les utilités. L'ensemble des unités de la raffinerie était en service en mars 1973 [1].

La raffinerie d'Arzew est située dans la zone industrielle sur le plateau d'El Mahgiune, à deux kilomètres de la ville d'Arzew et à environ 400 kilomètres de la ville d'Oran. Elle s'étend sur 170 Hectares, à proximité du port d'Arzew, ce qui facilite les enlèvements par bateau.

Le plan de masse de la raffinerie montre qu'elle occupe une superficie de 170 Hectares, répartis comme suit :

1. 150 Hectares correspondent aux anciennes installations, construites entre 1970 et 1983.
2. 30 Hectares correspondent aux nouvelles installations, construites entre 1978 et 1983.



Figure I. 1: Situation géographique du complexe RA1Z

I.2 Mission et objectif assignés

La mission de la raffinerie d'Arzew est d'assurer dans les normes une production adaptée aux exigences et aux besoins du marché national et international en termes d'énergie et ses dérivés. Elle a été conçue pour répondre aux impératifs suivants [1] :

- 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).

I.3 Capacité de traitement du complexe [2]

La raffinerie d'Arzew, après réhabilitation, traite 3,8 millions tonnes par an de pétrole brut de Hassi-Massoud et 279.000 tonnes par an de Brut Réduit importé (BRI) pour la fabrication des bitumes. Les capacités annuelles de production des différentes unités.

Tableau I.1: les capacités annuelles de production de la raffinerie d'Arzew

Produits	Tonnes/ans
Propane	15 000
Butane	70 000
Essence normale	490 000
Essence super	70 000
Naphta	160 000
Fuel BTS	550 000
Fuel HTS	70 000
Kérosène	120 000
Gazol	98 000
Huiles finis	170 000
Graisse	7 000
Paraffine	4 000
Bitume routier	120 000
Bitume oxydé	20 000

II. Présentation des installations de production

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

II.1 Département de production P1

Les installations de département P1 sont celles construites en 1970. Elles produisent les carburants, les lubrifiants. Ces installations sont constituées de :

- a. **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 de pompage d'eau.
 - **Unité 36** : Récupération et distribution du gaz combustible.
 - **Unité 67** : Réseau incendie.
 - **Unité 37** : Production gaz inerte.
- b. **Zone 4 carburants** : Elle comprend les unités suivantes :
- **Unité 11** : Unité de distillation atmosphérique « Topping »
 - **Unité 12** : Unité de reforming.
 - **Unité 13** : Séparation des gaz « GazaPlant ».
 - **Unité 17** : Isomérisation des paraffines légères.
- c. **Zone 7 lubrifiants** : Elle comprend les unités suivantes :
- **Unité 21** : Distillation sou vide.
 - **Unité 22** : Désasphaltage au propane.
 - **Unité 23** : Extraction au furfural des aromatiques.
 - **Unité 24** : Déparaffinage au MEC-Toluène.
 - **Unité 25** : Hydrofinishing.
- d. **Zone 10 bitumes** : cette zone est composée de deux ensembles :
- **Unité 14** : Bitumes routiers.
 - **Unité 15** : bitumes oxydés.

II.2 Département de production P2

En 1978, suite aux besoins importants en lubrifiants, la réalisation d'un ensemble de production de 120000T/ans d'huile de base fut lancée. Il comprend les zones suivantes :

- a. **Zone 19 Utilités** : Elle comprend les unités suivantes
- **Unité 1100** : Production de la vapeur
 - **Unité 1200** : Production de l'électricité
 - **Unité 1300** : Tour de refroidissement
 - **Unité 1400** : Fuel gaz
 - **Unité 1500** : Unité d'air comprimé
 - **Unité 1600** : Production de l'eau distillée
 - **Unité 1700** : La torche
 - **Unité 1800** : Traitement des eaux usées de P2
 - **Unité 280** : Production de gaz inerte (azote)
- b. **Zone 5 lubrifiants** : Elle comprend les unités suivantes
- **Unité 100** : Distillation sous vide
 - **Unité 200** : Désasphaltage au propane
 - **Unité 300** : Extraction des aromatiques
 - **Unité 150** : HOT OIL
 - **Unité 160** : Traitement des eaux acides
 - **Unité 400** : Déparaffinage au MEC-Tluène
 - **Unité 500** : Hydrofinishing
 - **Unité 600** : Hydrotraitement de la paraffine

II.3 Département de production P3

- a. **Zone 6 fabrication des huiles et graisses** : Elle comprend une unité
- **Unité 3000** : Huiles
 - **Unité 3100** : Blending des huiles
 - **Unité 3200** : Graisses
 - **Unité 3300** : Conditionnement de la paraffine
 - **Unité 3600** : Remplissage des huiles en vrac
 - **Unité 3900** : conditionnement des huiles et de graisse

II.4 Département de production P4

- a. **Zone 28 stockage et expédition**

Il s'agit stockage des produits finies comme les carburant, les GPL, ainsi que les additifs chimiques, le brut de Hassi-Massoud, puis le mélange du reformat, LSRN, butane pour l'obtention

des essences. Une dernière tâche, c'est l'expédition qui se fait par les camions (propane, butane, essence, gasoil) par train, soit par canalisation ou par navires au niveau de L'ISP.



Figure I. 2: plan de masse de la raffinerie d'Arzew [3]

III. Département de sécurité industrielle

- a. Service intervention
- b. Service prévention

IV. Laboratoire de contrôle

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

Chapitre II

Les procédés de fabrication Des huiles de base (zone5)

Introduction

Une huile est une fraction pétrolière lourde et visqueuse à haut point d'ébullition. Elle est constituée d'un mélange d'hydrocarbures appartenant aux séries aliphatiques, naphthéniques, aromatiques et contenant des proportions de soufre, d'azote et d'oxygène. Les lubrifiants modernes sont des produits complexes, qui outre les constituants de base, contiennent des additifs de fonctions très variées, destinés à les adapter plus particulièrement à une application donnée. [4,5]

I. Généralité sur lubrifiant

I.1 Définition de lubrifiant

Un lubrifiant est une matière onctueuse, d'une couleur r claire, soit liquide, semi plastique ou solide, elle est fabriquée à partir d'un mélange d'huiles de base (80%-90%) et d'additifs (10%-20%) qui confère aux produits finis des propriétés physico-chimiques selon le domaine d'application. Un lubrifiant est utilisé pour éviter tout contact direct entre la surface de deux pièces métalliques qui se déplacent l'une par rapport à l'autre afin d'atténuer le frottement et l'usure entre ces deux pièces.



Figure II. 1: composition de l'huile lubrifiant

I.2 Le rôle de la lubrifiant

La lubrifiant a pour but de réduire le frottement et l'usure par :

- Gain d'énergie (réduction de l'effet du frottement)
- Gain de matière (réduction de l'usure)

Les rôles essentiels de la lubrifiant peuvent se résumer ainsi :

- Assure la sécurité de fonctionnement en évitant les contacts métal-métal qui entraîneraient le grippage.
- Protection des surfaces métallique.
- Elimination des résidus et des impuretés.
- Diminution des bruits des moteurs.
- Protection contre la corrosion.
- Transmettre de la chaleur et de l'énergie.
- Protection de l'usure et du frottement.

La lubrification assure également d'autres rôles que le refroidissement, la dispersion et la neutralisation des produits de combustion des fuels.

I.3 Les tendances des huiles

Selon que le pétrole brut appartient aux familles paraffiniques ou naphthéniques, les huiles de base sont dites à tendance paraffinique, à tendance naphthalique ou à tendance aromatique [6].

Les paraffines : Les hydrocarbures saturés peuvent être linéaires (n-paraffines) ou ramifiés (iso-paraffines). Ils se distinguent par une bonne stabilité à l'oxydation, un indice de viscosité élevé autour de 100, un pouvoir solvant limité et un point de congélation élevé.

Les naphthènes : Les hydrocarbures saturés cycliques sont moins stables à l'oxydation que les paraffines. Ils présentent des indices de viscosité faibles (environ 60), mais ont un bon pouvoir solvant et de meilleures caractéristiques d'écoulement à basse température.

Les aromatiques : Les hydrocarbures insaturés cycliques sont très denses et peu stables à l'oxydation. Leur indice de viscosité est très bas. En raison de leurs mauvaises caractéristiques, ils nécessitent un traitement approfondi dans les unités de raffinage. Leur pouvoir solvant est élevé.

II. Caractéristiques d'un lubrifiant

Ces huiles de base doivent avoir des propriétés précises dont les principales recherchées sont :

- **La densité :** La connaissance de la densité a une importante valeur commerciale car la cotation des huiles dépende en partie de cette propriété. La densité est exprimée la plus souvent en degré API [3].
- **La viscosité :** la viscosité est la propriété la plus connue des huiles lubrifiantes, est une grandeur physique qui mesure la résistance interne d'un fluide à l'écoulement. C'est une résistance due au frottement des molécules qui glissent les unes sur les autres.
- **L'indice de viscosité :** Il s'agit d'un nombre qui est le résultat d'un calcul faisant intervenir la viscosité cinématique à 40°C et celle à 100 °C, et qui caractérise la capacité du lubrifiant à conserver constante sa viscosité dans une large gamme de température. Plus l'indice de viscosité est élevé, plus la baisse de viscosité est faible en cas d'augmentation de la température. Cette propriété peut être améliorée par des additifs [3].
- **Point d'écoulement :** le comportement à froid d'une huile lubrifiante était défini par le point de figeage, c'est-à-dire la température à laquelle l'huile se solidifie [7].
- **Point d'aniline :** cette valeur caractérise la teneur en aromatiques des huiles. Le point d'aniline est d'autant plus élevé que cette teneur est faible.
- **La résistance à l'oxydation et stabilité :** Dégradation des caractéristiques des huiles sous l'influence de l'oxygène et de la température.
- **Point d'éclair :** C'est la température minimale à laquelle l'huile doit être portée pour que les vapeurs émises s'enflamment et s'éteignent instantanément à l'approche d'une flamme. Il permet de juger la présence des légers dans huile.
- **Détergence :** Cette caractéristique assure la fonction de nettoyage et d'élimination des produits d'oxydation ou des dépôts charbonneux qui se forment pendant le fonctionnement sur les parois des cylindres et pistons [8].

II.1 Définition et le rôle des additifs

Le lubrifiant moderne est un produit de haute technicité contenant de 15-20% en poids d'additifs divers qui permettent au moteur de fonctionner dans des conditions de plus en plus sévères [9].

Les additifs sont une série de composants chimiques qui ont la capacité d'augmenter les performances d'une huile lubrifiante. Ils sont commercialisés comme commerciaux, à base de métaux (Zn, Cu, Fe, etc ...).

Les additifs incluent les rôles suivants :

- Améliorer la qualité du film lubrifiant sous condition extrême pression ;
- Retarder l'oxydation
- Formation d'émulsions huile/eau stables ;
- Augmenter les propriétés d'écoulement à froid ;
- Augmenter l'indice de viscosité ;
- Réduire la mousse ;
- Accroître la capacité perméable du métal ;
- Maintenir la propreté des pièces des moteurs.

II.2 Classification des huiles de base zone 5

Développée par la société S.A.E (Society of Automotive Engineer). Il existe 11 grades : 6 grades pour l'hiver W (Winter) 0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W. Ces grades sont caractérisés par deux viscosités à basse température pour [10] :

- L'aptitude de l'huile à favoriser le démarrage à froid
- La comptabilité à froid.

Il existe 5 grades pour l'été : SAE20, SAE30, SAE40, SAE50, SAE60.

- Ils sont caractérisés par deux viscosités à chaud, ces viscosités sont prises à 100°C.
- Sous faible taux de cisaillement (viscosité cinématique)
- Taux de cisaillement élevé (viscosité dynamique)

Ces huiles sont recommandées :

- SAE30, SAE20 : Pour un climat tempéré
- SAE40, SAE50 : Pour un climat chaud

Ces huiles sont appelées mono-grade c'est-à-dire qui sont utilisées seulement, soit en été soit en hiver. Il existe des huiles multigrades, qui sont utilisées pendant toutes les saisons, en été et en hiver. Ce sont : 10W30, 10W40, 10W50 ; 15W30, 15W40, 15W50 ; 20W20, 20W30, 20W40, 20W50[8].

Ces huiles possèdent à la fois les limites de viscosité d'un grade à froid et d'un grade à chaud. Ces huiles se distinguent par leur point de congélation très bas et l'indice de viscosité très haut.

II.3 Chaîne de fabrication des huiles de base

Les installations de fabrication des huiles comprennent un ensemble de cinq unités en chaîne, chacune ayant un procédé de traitement spécifique. La zone de lubrifiants 2 (zone 5) est responsable de la production des huiles de base à partir de brut réduit atmosphérique (BRA) et a une capacité de production de 120 000 tonnes par an.

Elle englobe des unités suivantes [11]

HB3 composé des unités suivantes :

- ✓ **Unité 100** : distillation sous vide
- ✓ **Unité 150** : huile caloporteur
- ✓ **Unité 200** : désasphaltage au propane
- ✓ **Unité 300** : extraction au Furfural

HB4 comprend les unités suivantes :

- ✓ **Unité 400** : déparaffinage/déshuilage au MEC-Toluène
- ✓ **Unité 500** : hydrofinishing
- ✓ **Unité 600** : production de la paraffine

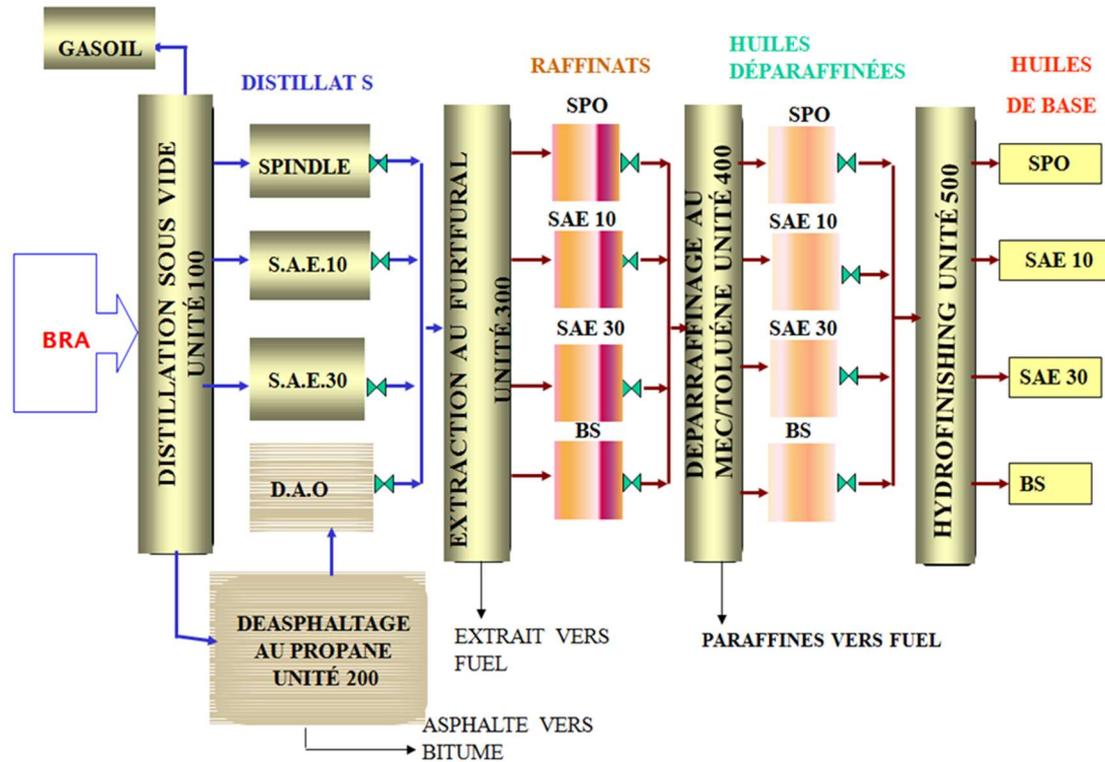


Figure II. 2: Chaîne de fabrication des huiles de base au niveau de la zone 5

II.4 Unités principales de la zone 5 de fabrication des huiles

II.4.1 Unité 100 la distillation sous vide

La distillation sous vide consiste à séparer le résidu atmosphérique sortant au fond de la colonne atmosphérique et d'extraire des coupes des distillats destinés pour la production des lubrifiants [12].

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, dont 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].

a. But de l'unité

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. L'unité de distillation sous vide est destinée à préparer les distillats qui seront transformés en huile de base. Notez que la charge de l'unité est du BRA (Brut Réduit Atmosphérique) venant de la zone 04 et les coupes recherchées sont :

- Gasoil visqueux (VGO)
- Spindle (SPO)
- SAE10 (mi visqueuse)
- SAE30 (visqueuse)
- Résidu sous vide (RSV)

L'unité est prévue pour fonctionner 333 J/an, elle est calculée pour traiter 1356 t/j.

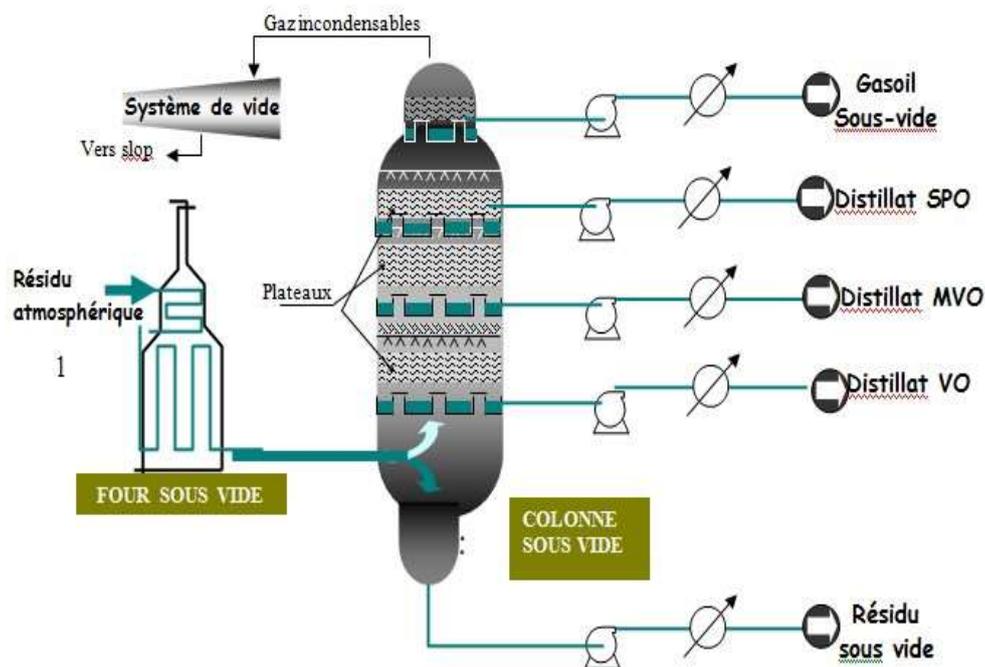


Figure II. 3: schéma simplifié de la distillation sous vide

II.4.2 Unité 150 : Description du Système d'huile caloporteur :

L'unité 150 a pour but d'assurer la chauffe des différents produits des unités de la chaîne de fabrication des huiles de base (la zone 5), les unités sont : Unité 200, Unité 300, Unité 400 [13].

Le four H151 qui réchauffe l'huile de base (SAE 10) est de type cylindrique qui comprend une zone de radiation et une zone de convection. Il est équipé de neuf (9) brûleurs à air induit. Le four H151 fonctionne dans les conditions de service suivantes :

- Température d'entrée, $T_e = 260 \text{ }^\circ\text{C}$
- Température de sortie, $T_s = 300 \text{ }^\circ\text{C}$
- Débit $M = 1365 \text{ m}^3/\text{h}$ [10].

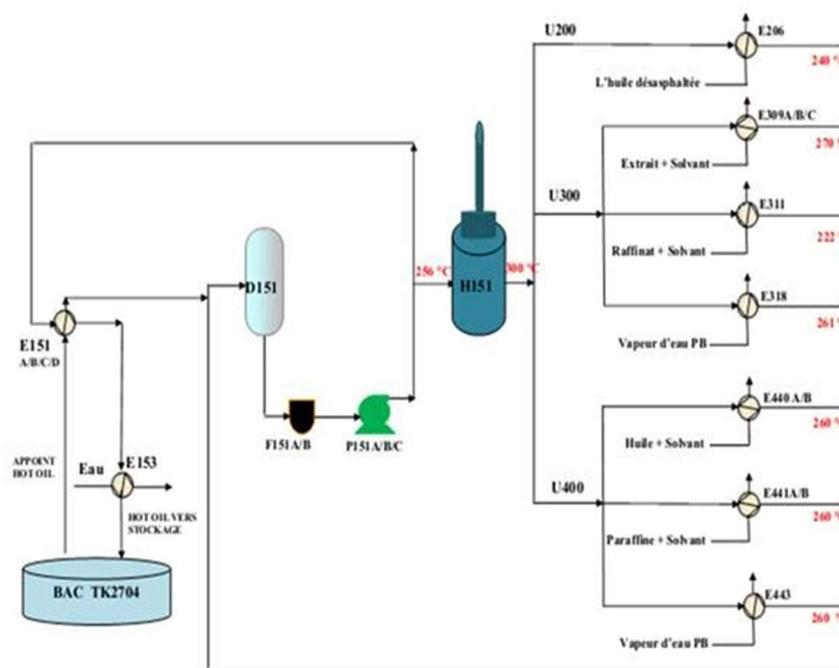


Figure II. 4 : Schéma simplifié de la boucle d'huile chaude [11].

II.4.3 Unité 200 Désasphaltage au propane

Le désasphaltage est un procédé d'extraction par solvant, d'une huile lourde, à partir du résidu sous vide. Les solvants qui peuvent être utilisés sont : le propane, le butane, le pentane, l'hexane ou l'heptane utilisés seuls ou en mélange [11].

a. But de l'unité

Le désasphaltage a pour but de séparer des produits lubrifiants lourds, à savoir les asphaltes qui nuisent à leur stabilité thermique. La séparation se fait dans une colonne à disque rotatif, le solvant utilisé est le propane [11].

b. Capacité de l'unité

L'unité de désasphaltage au propane est destinée à traiter 382 t/j de résidu sous vide (RSV) provenant de l'unité 100 pour produire l'huile désasphaltée et de l'asphalte.

- L'huile désasphaltée est destinée à préparer le "Bright stock".
- L'asphalte constitue la charge d'une unité de production de bitume [11].

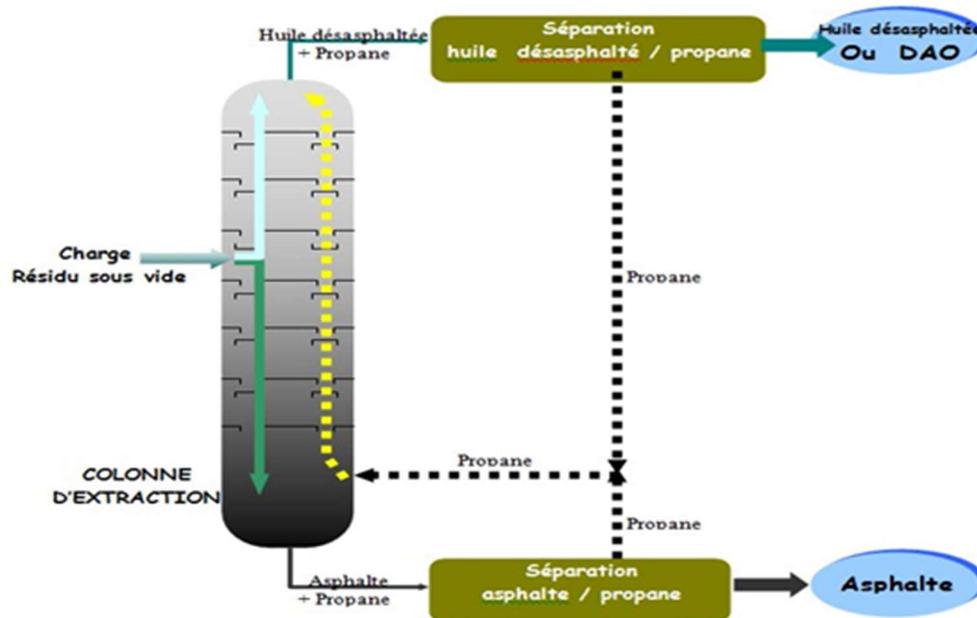


Figure II. 5: schéma simplifié du désasphaltage au propane

II.4.4 Unité 300 Extraction au furfural

Le rôle de l'unité 300 d'extraction au furfural est d'éliminer les hydrocarbures aromatiques qui ont un mauvais indice de viscosité et son facilement oxydable.

a. But de l'unité

Le but de l'unité est d'améliorer l'indice de viscosité des distillats sous vide et du DAO. En traitant l'huile avec le furfural dans le RDC, il s'effectue un flux par différence de densité et de température. Deux phases se séparent :

- La phase extraite qui est plus lourde à cause de la grande quantité de furfural descend jusqu'au fond de la tour, C'est l'extrait.

-L'autre phase, pauvre en furfural qui contient l'huile à haut indice de viscosité (VI), monte dans l'interface à cause de sa densité inférieure et est récupérée au sommet du RDC, c'est le raffinat [14].

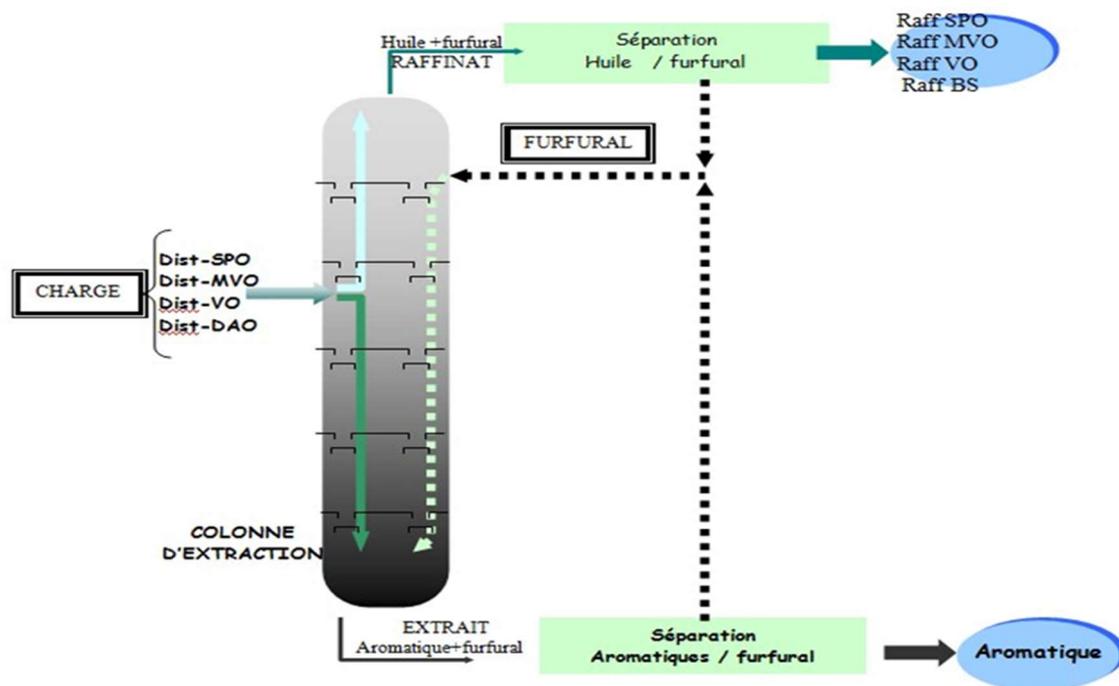


Figure II. 6: schéma simplifié de l'extraction au furfural

II.4.5 Unité 400 déparaffinage au MEC/Toluène

Les quatre grades de raffinat ont été débarrassées de la majorité des aromatiques, cette opération a permis d'ajuster l'indice de viscosité (VI).

Le raffinat est constitué de molécules paraffiniques à chaîne linéaires ou ramifiées et naphthéniques.

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. Il est indispensable d'éliminer ces molécules à point de congélation élevé. [13]

a. But de l'unité

L'objectif de l'unité est d'abaisser le point de trouble et le point d'écoulement. La méthode utilisée est le refroidissement et l'utilisation des solvants dispersant et précipitant. Le solvant est le MEC/toluène (mélange méthyléthylcétone et toluène) [13].

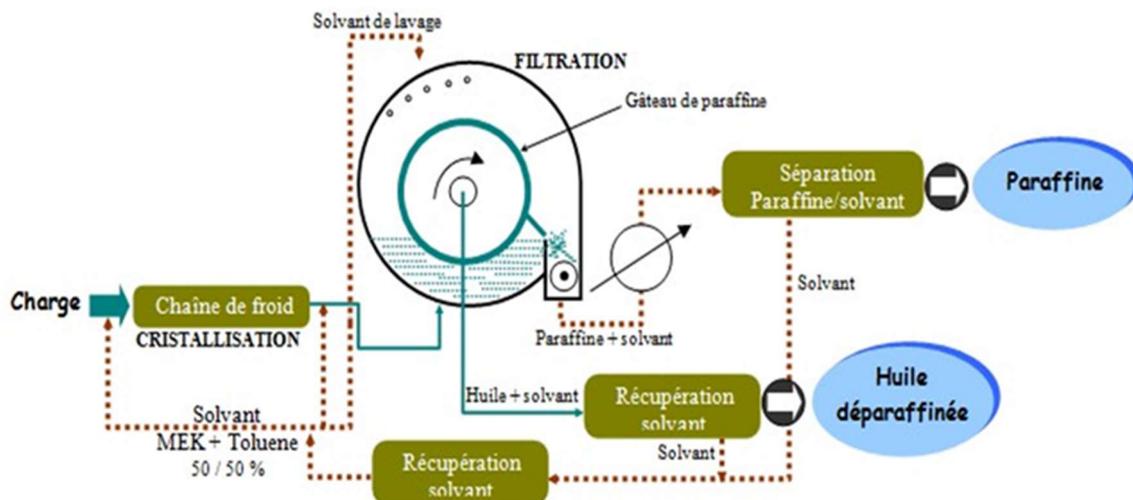


Figure II. 7: Schéma simplifié du déparaffinage au MEK/Toluène

II.4.6 Unité 500 Hydrofinishing

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
- Minimiser le teneur en impuretés

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. [15]

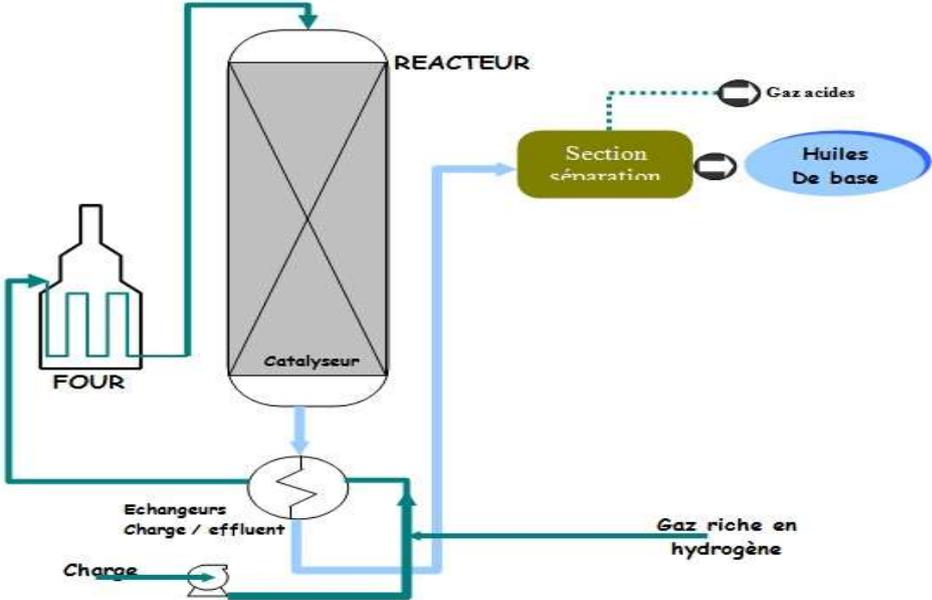


Figure II. 8 : Schéma simplifié de l'hydrofinishing

Chapitre III

Les Fours industriels

I. Définition

Les fours industriels sont des appareils destinés à chauffer des fluides à l'aide des fumées produites par la combustion de combustibles liquides ou gazeux. Ils sont dits à chauffage direct lorsque la chaleur des fumées est directement transférée au fluide circulant dans un serpentin tubulaire. Les fours à chauffage indirect, quant à eux, réchauffent le fluide à travers un faisceau tubulaire baignant dans un fluide chaud chauffé par les fumées du combustible.

II. Rôle des Fours dans l'Industrie Pétrolière

Dans la plupart des installations, l'énergie thermique nécessaire au procédé est fournie par des fours à chauffage direct. L'énergie produite par la combustion est directement transmise au fluide à réchauffer, lequel circule dans un serpentin tubulaire ou un faisceau de tubes. On peut distinguer différentes configurations en fonction de l'effet de l'apport de chaleur sur le fluide de procédé.

- a. **Les fours de réchauffage sans changement de phase** Dans lesquels la charge liquide ou vapeur ne reçoit que la chaleur sensible. C'est le cas par exemple :
 - Des fours des unités de reforming catalytique où la charge est en état gazeux (déjà vaporisée à l'entrée du four) et portée à la température nécessaire pour les réactions chimiques sur les lits catalytiques.
 - Des fours à huile chaude utilisés comme fluide caloporteur.
 - Des surchauffeurs de vapeur indépendants des fours de vapocraquage sont utilisés lorsque la vapeur provenant des échangeurs de ligne de transfert n'est pas surchauffée dans la zone de convection.
- b. **Les fours de réchauffage de liquide avec vaporisation partielle** que l'on rencontre en particulier les unités de distillation : four de distillation sous vide ou atmosphérique, four de remouillage, dans ces fours, la charge reçoit de la chaleur latente pour atteindre le degré de vaporisation requis.

III. Description d'un Four Industriel

Un four industriel typique comprend :

- Un faisceau tubulaire en zone de radiation et éventuellement en zone de convection.

- Une zone de rayonnement formant la chambre de combustion garnie intérieurement de matériau réfractaire.
- Une zone de conversion éventuellement garnie également.
- Un équipement de chauffe comprenant des brûleurs situés à la base ou sur les côtes de, avec son appareillage
- Une cheminée ou un carneau pouvant être garnis avec registre
- Divers accessoires tels que souffleurs, portes d'explosion, analyseurs d'oxygène, etc.

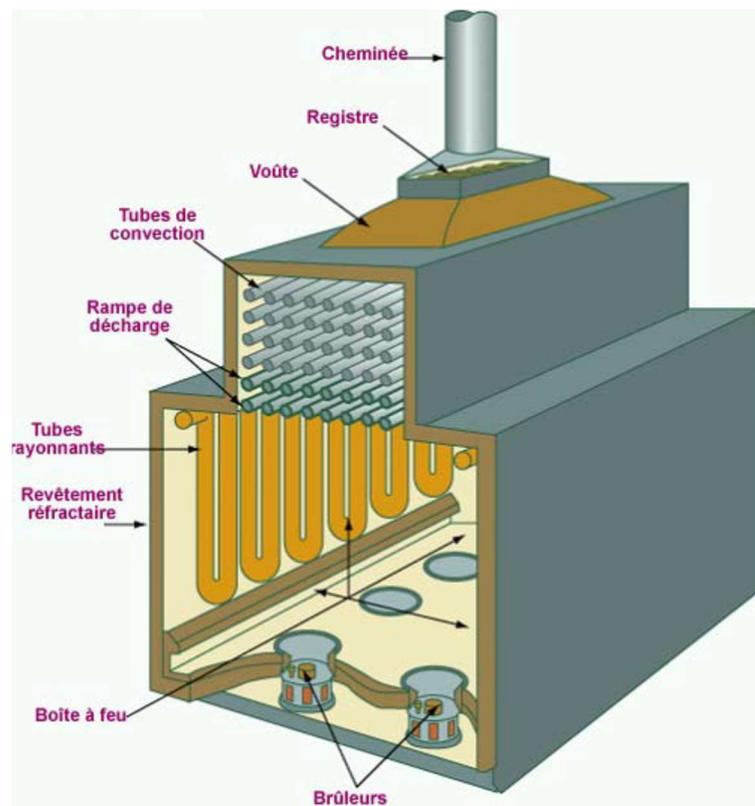


Figure III. 1:Schéma descriptif des composants des fours.

IV.Principaux Types de Fours

Il existe une grande variété de fours

IV.1 Fours cylindriques verticaux :

Four cylindrique vertical. Les brûleurs situés au fond du four assurent le mélange de l'air et du combustible pour la combustion. Les flammes se développent dans la zone de radiation où les tubes sont chauffés par rayonnement. Au sommet de cette zone, la température des gaz de combustion est d'environ 700 à 800 °C, ce qui réduit l'intensité du rayonnement.

La récupération de chaleur des fumées se poursuit dans la zone de convection, qui fonctionne comme un échangeur tubulaire. Les fumées refroidies sont ensuite rejetées dans l'atmosphère par la cheminée.

Pendant son trajet dans le faisceau tubulaire, le fluide de procédé traverse successivement les zones de convection et de radiation. La charpente métallique et l'enveloppe métallique du four (le casing) sont protégées de la chaleur par une isolation interne en briques réfractaires, en béton réfractaire ou en fibres céramiques.

Les fours cylindriques verticaux se caractérisent par un axe de symétrie vertical. Pour un four équipé d'un seul brûleur, celui-ci est placé dans l'axe du four pour obtenir une puissance thermique élevée. Si plusieurs brûleurs sont nécessaires, ils sont disposés en cercle autour de l'axe du four.

Selon la puissance thermique du four, les dimensions des zones de radiation varient entre 1,5 m et 13 m de diamètre, avec des hauteurs allant de 2,5 m à 25 m. Les puissances thermiques les plus élevées de ces fours peuvent atteindre environ 70 000 tonnes par heure, correspondant à la combustion d'environ 7 tonnes par heure de combustible.

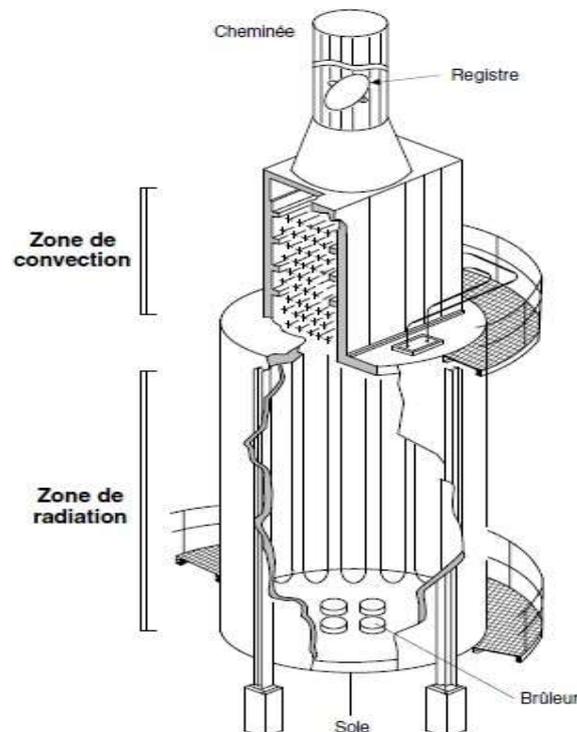


Figure III. 2: une vue écorchée d'un four cylindrique vertical

IV.2 Fours cabines

a) Fours cabines à brûleurs sur la sole

Il se distingue essentiellement du four cylindrique par l'existence d'un plan de symétrie, ce qui conduit à disposer un grand nombre de brûleurs sur la sole pour réaliser un véritable rideau de flammes dans le plan médian de la zone de radiation. La largeur de la zone de radiation est d'environ 6 m, et la hauteur varie de 10 à 15 m. La longueur du four dépend de la puissance thermique et du nombre de brûleurs nécessaires. Elle peut atteindre 40 m.

Dans certains cas, pour limiter la longueur du four, la zone de radiation est divisée en deux cellules parallèles, surmontées d'une zone de convection. Pour les fours de faible longueur, les brûleurs peuvent être disposés sur les pignons.

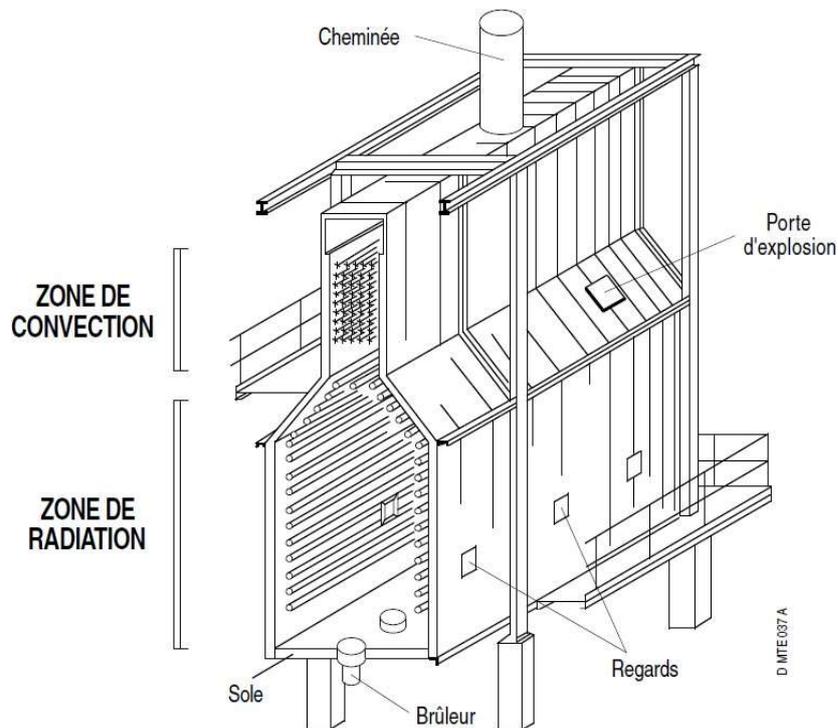


Figure III. 3: vue d'un four cabine à tube horizontal

b) Fours cabine à brûleurs sur les parois

Certains procédés comme le vapocraquage exigent un apport de chaleur intense au faisceau tubulaire et à un niveau de température élevé. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de répartir l'apport de chaleur sur toute la hauteur du four, ce qui conduit à disposer des brûleurs sur toute la surface de la paroi.

Le faisceau tubulaire est alors situé dans le plan médian du four. La zone de convection est utilisée pour préchauffer la charge et la vapeur de dilution, et éventuellement pour surchauffer la vapeur produite dans les chaudières de trempé.

V.Choix d'un Four

Le choix entre un four vertical et un four horizontal dépend de plusieurs facteurs :

- **La Construction** Au-delà d'une capacité de 60×10^6 Kcal/h, les fours cylindriques présentent des difficultés de construction, avec un diamètre maximal de 10 à 11 m.
- **Encombrement** : L'encombrement du four cabine à tube horizontaux est beaucoup plus important que le four cylindrique. En effet la longueur d'un four cabine peut atteindre 27 mètres et nécessite de plus, une zone de dégagement des faisceaux du même ordre
- **L'investissement** : Le four cabine est général d'un prix de revient supérieur au four vertical pour une même capacité située entre 2×10^6 Kcal/h à 30×10^6 Kcal/h.
- **La Conduite** : Le four cabine est général d'une exploitation facile, principalement du fait que l'échange de chaleur à travers la radiation est plus homogène. La hauteur de la zone de radiation d'un four cabine est de l'ordre de 15 m maximum alors qu'elle peut atteindre près de 25 m dans le four cylindrique.
- **Le raccordement** : Les problèmes d'installation de raccordement avec les lignes de transfert du four cabine à tube horizontaux sont complexes.
- **L'imposition** : Le choix entre le four cabine et le four cylindrique est dicté également par la convection propre du client ou du donneur de procédés.
- **Four sans installation de préchauffage d'air**
 - Charpente entre 25% et 35%
 - Réfractaire entre 20% et 30%
 - Faisceaux entre 25% et 40%
 - Divers entre 5% et 20%
- **Four avec installation de préchauffage d'air**
 - Charpente entre 25% et 35%
 - Réfractaire entre 15% et 25%
 - Faisceaux entre 20% et 30%
 - Divers entre 5% et 15%

V.1 Rendement d'un Four

Le rendement d'un four industriel dépend principalement de la gestion des pertes de chaleur. Ces pertes proviennent principalement de :

- La chaleur traversant les parois du four.
- La chaleur perdue dans les fumées rejetées par la cheminée.

Pour améliorer le rendement, des mesures telles que le préchauffage de l'air de combustion et la récupération de chaleur peuvent être mises en place. Cela permet d'atteindre un rendement thermique de l'ordre de 80 % du pouvoir calorifique inférieur.

Chapitre IV

Calcul de rendement du four

Problématique

LE FOUR H101

Actuellement la charge du BRA à l'entrée de four H101 est bas 60% par rapport à celui design (80%).

Selon les responsables de la salle contrôle, de département technique et durant notre visite sur site, ce problème à cause des pertes de charge, le blocage du slop lourd de colonne de distillation sous vide et le une fissure du tube à l'intérieur avec la formation de coke.

Les conséquences de ce problème sont :

- L'augmentation de la température de peau TS qui dépasse le seuil maximum 550°C de température admissible ;
- La consommation de fuel gaz est augmentée, qui doit mettre tous les brûleurs en service ;
- La diminution de température du l'huile chaude.



Figure IV. 1 : l'intérieur du tube

I. Etude de la combustion

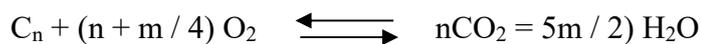
Le combustible utilisé dans le four H101 de la raffinerie d'Arzew est le fuel gaz (gaz de raffinerie).

C'est un mélange d'hydrocarbures (H_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , C_4H_{10} , C_5H_{12}) et qui peut contenir des impuretés, en particulier du soufre dont la teneur peut être négligeable.

I.1 Réactions de combustion

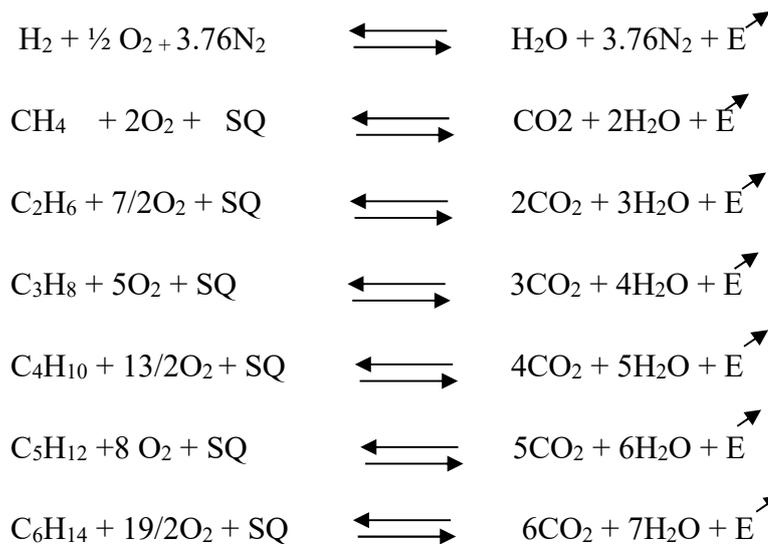
À partir des réactions de combustion, on détermine la quantité d'oxygène nécessaire, et donc la quantité d'air, pour la combustion ainsi que la quantité de fumées formées. Les réactions de combustion sont les suivantes :

La formule générale chimique suivante :



On a la composition d'air $N_2 = 79\%$, $O_2 = 21\%$ donc on trouve pour chaque mole O_2 un nombre de 3.76 de N_2

Les réactions de combustion sont les suivantes :



I.2 Quantité théorique d'oxygène nécessaire pour la combustion de gaz combustible

Le volume d' O_2

$$V_{O_2} = \left[\left(\frac{7,5}{100} * \frac{1}{2} \right) + \left(\frac{81,31}{100} * 2 \right) + \left(\frac{8,60}{100} * \frac{7}{2} \right) + \left(\frac{1,92}{100} * 5 \right) + \left(\frac{0,24}{100} * \frac{13}{2} \right) + \left(\frac{0,35}{100} * \frac{13}{2} \right) + \left(\frac{0,04}{100} * 8 \right) + \left(\frac{0,04}{100} * 8 \right) \right] \cdot 100 Nm^3$$

$$V_{O_2} = 210,55 Nm^3$$

1 Calcul la quantité totale d'oxygène

L'excès d'air est égal à 21% alors le rapporte $N_2/O_2 = 3,76$

$$V_{O_2 \text{ totale}} = V_{O_2 \text{ consommée}} + V_{O_2 \text{ dans l'excèsd'air}}$$

$$V_{O_2} = 210,55 + 57,92 = 268,47 \text{Nm}^3$$

I.3 Quantité théorique d'eau (H₂O) nécessaire pour la combustion de gaz combustible

1. Le volume d'H₂O :

$$V_{H_2O} = \left[\left(\frac{7,5}{100} * 1 \right) + \left(\frac{81,31}{100} * 2 \right) + \left(\frac{8,60}{100} * 3 \right) + \left(\frac{1,92}{100} * 4 \right) + \left(\frac{0,24}{100} * 4 \right) + \left(\frac{0,35}{100} * 5 \right) + \left(\frac{0,04}{100} * 5 \right) + \left(\frac{0,04}{100} * 6 \right) \right] * 100 \text{Nm}^3$$

$$V_{H_2O} = 206,75 \text{Nm}^3$$

2. Le volume d'CO₂ :

$$V_{CO_2} = \left[\left(\frac{7,5}{100} * 0 \right) + \left(\frac{81,31}{100} * 1 \right) + \left(\frac{8,60}{100} * 2 \right) + \left(\frac{1,92}{100} * 3 \right) + \left(\frac{0,24}{100} * 4 \right) + \left(\frac{0,35}{100} * 4 \right) + \left(\frac{0,04}{100} * 5 \right) + \left(\frac{0,04}{100} * 5 \right) \right] * 100 \text{Nm}^3$$

$$V_{CO_2} = 107,03 \text{Nm}^3$$

3. Calcul du volume d'air V_a

$$V_a = V_{O_2} + V_{N_2}$$

$$V_{N_2} = \frac{79}{21} * V_{O_2} = \frac{79}{21} * 210,55 = 791,67 \text{L}$$

$$V_a = 210,55 + 791,67$$

$$V_a = 1002,22 \text{Nm}^3$$

4. Calcul la quantité totale du gaz inerte

Donc : le débit du gaz inerte (N₂) est :

$$Q_{N_2} = 3,76 * 268,47 = 1009,45 \text{Nm}^3$$

La sommes des composants à la sortie du four = la composition finale des fumées

$$V_{\text{totales des fumées}} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{O}_2 \text{ en excès}} + V_{\text{N}_2 \text{ total}}$$

$$V_{\text{totales des fumées}} = 210,55 + 206,75 + 57,92 + 1009,45 = 1381,15 \text{ Nm}^3$$

Tableau IV. 1: les compositions des fumées

Constituants du combustible	Pourcentages molaires Y_i	O ₂ de la combustion Nm^3	Composition des fumées				Constituants du combustible
			CO ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂	
H ₂	7,50	3,75	-	7,50	-	14,10	H ₂
C ₁	81,31	162,62	81,31	162,62	-	611,45	C ₁
C ₂	8,60	30,10	17,20	25,80	-	113,18	C ₂
C ₃	1,92	9,60	5,76	7,68	-	36,09	C ₃
iC ₄	0,24	1,56	0,96	1,20	-	5,86	iC ₄
nC ₄	0,35	2,27	1,4	1,75	-	8,53	nC ₄
iC ₅	0,04	0,32	0,20	0,24	-	1,20	iC ₅
nC ₅	0,04	0,40	0,25	0,3	-	1,50	nC ₅
TOTAL	100	210,55	-	-	-	791,91	Air de combustion
O₂ dans l'excès d'air		57,92	107,03	206,75	57,92	1009,45	TOTAL
O₂ dans l'air de combustion		289,6	07,75%	14,97%	4,19%	72,09%	Pourcentage molaire
N₂ dans l'air de combustion		1088,896					
Nombres de Nm^3 d'air de combustion pour 100 Nm^3 de gaz combustible		1335,84	1381,15				Nombre de Nm^3 de fumées pour 100 Nm^3 de gaz combustible

Tableau IV. 2: fraction molaire de gaz combustible

Constituants	Yi % (molaire)	PCIi (Kcal / Nm)	(PCIi * Yi) /100 (kcal / Nm)
H ₂	7,50	2580	193,50
C ₁	81,31	8550	6952,01
C ₂	8,60	15220	1308,92
C ₃	1,92	21800	418,56
i-C ₄	0,24	28340	68,02
n-C ₄	0,35	28340	99,19
i-C ₅	0,04	34890	13,96
n-C ₅	0,04	34890	13,96
Totale	100	-	9068,12

I.4 Calcul du pouvoir calorifique inférieur du gaz combustible

Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) du gaz combustible est calculé à partir de l'équation suivante :

$$PCI_{(gaz)} = \sum(PCI * Yi)$$

PCI : pouvoir calorifique inférieur (kcal/ Nm³)

Yi : pourcentage molaire du gaz combustible

$$PCI = \left[\left(\frac{7,50}{100} * 2580 \right) + \left(\frac{81,31}{100} * 8550 \right) + \left(\frac{8,60}{100} * 156220 \right) + \left(\frac{1,92}{100} * 21800 \right) \right. \\ \left. + \left(\frac{0,24}{100} * 28340 \right) + \left(\frac{0,35}{100} * 28340 \right) + \left(\frac{0,04}{100} * 34890 \right) + \left(\frac{0,04}{100} * 34890 \right) \right]$$

$$PCI = 9068,12 \text{ kcal/Nm}^3$$

II.2 Calcul de la quantité des fumées formées par la combustion de 1 Kg de gaz

II.1 2-1 Masse moléculaire des fumées

$$M_f = \sum (M_i * Y_i) = M_{CO_2} * Y_{CO_2} + M_{O_2} * Y_{O_2} + M_{H_2O} * Y_{H_2O} + M_{N_2} * Y_{N_2}$$

Tableau IV. 3: les composition des fumées

Constituant des fumées	CO2	O2	H2O	N2
Pourcentage molaire	7,75	14,97	4,19	73,09
masse moléculaire	44	32	18	28

$$M_f = (44 * 0,0775) + (32 * 0,1497) + (18 * 0,0419) + (28 * 0,7309)$$

$$M_f = 29,42 \text{Kg/mole}$$

Masse volumique des fumées aux conditions normales de T et de P

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

$$\rho_f = \frac{29,42}{22,4}$$

$\rho_f = 1,31 \text{ kg/Nm}^3$

II.2 La masse moléculaire du gaz combustible

$$M_{com} = \sum (M_i * Y_i)$$

$$M_{com} = M_{H2} * Y_{H2} + M_{C1} * Y_{C1} + M_{C2} * Y_{C2} + M_{C3} * Y_{C3} + M_{iC4} * Y_{iC4} + M_{nC4} * Y_{nC4} + M_{iC5} * Y_{iC5} + M_{nC5} * Y_{nC5}$$

Tableau IV. 4: masse moléculaire du gaz combustible

Constituant	H2	C1	C2	C3	iC4	nC4	iC5	nC5
%molaire (cas réel)	7,50	81,31	8,60	1,92	0,24	0,35	0,04	0,04
M moléculaire (kg/kmol)	2	16	30	44	58	58	72	72

$$M_{com} = (2 * 0,0750) + (16 * 0,8131) + (30 * 0,0860) + (44 * 0,0192) + (58 * 0,0024) + (58 * 0,0035) + (72 * 0,0004) + (72 * 0,0004)$$

$$M_{com} = 16,98 \text{ kg/kmol}$$

II.3 Masse volumique du gaz combustible dans les condition normale température et pression

$$\rho_{com} = \frac{M_{com}}{22,4} \quad \rho_{com} = \frac{16,98}{22,4}$$

$$\rho_{com} = 0,76 \text{ kg/Nm}^3$$

1. Le volume de fumées

10 Nm³ de fuel gaz dégagent un volume de fumées $V_f = 1381,15 \text{ Nm}^3$

Donc 1 Nm³ de fuel gaz dégage un volume de fumées $V_f = 13,8115 \text{ Nm}^3$

Pour 1kg de fuel gaz la masse des fumées est :

$$m_f = \frac{\rho_f * V_f * m_{com}}{\rho_{com} * V_{com}} = \frac{1,31 * 13,8115 * 1}{0,76 * 1}$$

$$m_f = 23,81 \text{ kg}$$

Alors : 1kg de gaz combustible (composition design) dégage 23,81 kg de fumées.

II.4 La quantité de l'air nécessaire pour la combustion de 1 kg de gaz

100 Nm³ de fuel gaz nécessitent 1335,84 Nm³ d'air.

Donc 1Nm³ de gaz combustible nécessite 13,3584 Nm d'air

La masse volumique de l'air = 1,294 kg /Nm³

$$m_{air} = \frac{\rho_{air} * V_{air} * m_{com}}{\rho_{com} * V_{com}} = \frac{1,294 * 13,3584 * 1}{0,76 * 1}$$

$$m_{air} = 22,79 \text{ K}$$

Alors : 1 kg de gaz combustible nécessite 22,79kg d'air

III.3 Calcul du rendement du four H101

Le rendement d'un four η est défini comme le rapport entre le débit de chaleur absorbée par le fluide et le débit de chaleur fourni au four par la combustion (Qentrée).

$$\eta = 1 - \frac{Q_{\text{perte totale}}}{Q_{\text{entree}}}$$

III.1 Calcul de la quantité de chaleur dégagée $Q_{\text{entrée}}$

$$Q_{\text{entrée}} = Q_1 + Q_2$$

Tableau IV. 5: comparaison de fuel de gaz (réel/ design)

Fuel de gaz	Réel	Design
Débits (m3/h)	872	684
La pression (bar)	0,93	3,50
la température (°C)	20	20

III.1.1 La quantité de chaleur dégagée par le fuel de gaz est

$$Q_1 = Q_{\text{Sen}} + \dot{m}_{\text{com}} + \rho_{\text{com}}$$

Avec \dot{m}_{com} : débit volumique du fuel gaz

ρ_{com} : masse volumique de combustible

Q_{sen} : chaleur sensible de l'air

$C_{\text{p air}}$: chaleur spécifique de l'aie prise à partie de l'annexe c

$$C_{\text{p air}} = 0,242 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{sen}} = m_{\text{air}} * c_{\text{p air}} * (T_{20} - T_0)$$

$$Q_{\text{Sen}} = 22,79 * 0,242 * 20 \longrightarrow Q_{\text{Sen}} = 110,30 \text{ Kcal/Kg de gaz}$$

Chaleur dégager par l'air

$$Q_1 = 110,30 * 872 * 0,76 \longrightarrow Q_1 = 73098,02 \text{ kcal/h}$$

III.1.2 Calcul de la quantité de chaleur dégager par la combustion

$$Q_2 = PCI_{\text{com}} * \dot{m}_{\text{com}}$$

PCI : pouvoir calorifique inférieur de fuel gaz

$$Q_2 = 9068,63 * 872 \longrightarrow Q_2 = 7907400,64 \text{ kcal/h}$$

Donc la quantité de chaleur totale dégager par le combustible

$$Q_{\text{entrée}} = Q_1 + Q_2 \quad \longrightarrow \quad Q_{\text{entrée}} = 73098,02 + 7907400,64$$

$$Q_{\text{entrée}} = 7980498,66 \text{ kcal/h}$$

III.2 Calcul des pertes de chaleur par parois

Nous admettons que les pertes au niveau du four se répartissent comme suit :

Pertes par parois en zone de conduction : 18,5%

Pertes par parois en zone de convection : 0,5%

Pertes par parois en zone de radiation : 1%

$$Q_{\text{parois}} = Q_{\text{entrée}} * 0,20$$

$$Q_{\text{parois}} = 7980498,66 * 0,20 \quad \longrightarrow \quad Q_{\text{parois}} = 1596099,73 \text{ kcal/h}$$

III.3 Calcul des pertes de chaleur par les fumées

Les pertes de chaleur les plus significatives proviennent de la cheminée, où les fumées s'échappent du four à une température relativement élevée et se dissipent dans l'atmosphère.

$$Q_{\text{fumées}} = \dot{m}_{\text{fumées}} * H_{\text{fumées}}$$

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

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

III.3.1 Calcul de l'enthalpie des fumées $H_{\text{fumées}}$

$$H_i = C_{p_i} * T$$

C_{p_i} : chaleur spécifique des constituants des fumées(kcal/kg°C)

T : température des fumées(°C)

La chaleur spécifique des fumées est déterminée suivant l'annexe E

La température des fumées dans le cas réel est égale 700°C

Tableau IV. 6: les caractéristiques des fumées

Composition Des fumées	Cp Kcal/kg°C	Y%	Hi Kcal/kg	H _{fumées} H*Yi kcal/kg
O2	0,241	0,042	83,145	3,492
N2	0,260	0,731	89,700	65,571
H2O	0,496	0,150	171,120	25,668
CO2	0,261	0,078	90,045	7,023
total				101,754

III.3.2 Calcul de débit des fumées $\dot{m}_{\text{fumées}}$

$$G_{\text{fumées}} = \dot{m}_{\text{com}} * \rho_{\text{com}} * m_{\text{com}}$$

$$G_{\text{fumées}} = 872 * 0,76 * 23,81$$

$$G_{\text{fumées}} = 15779,363 \text{ kg/h}$$

Donc :

$$Q_{\text{fumées}} = 15779,363 * 101,754$$

$$Q_{\text{fumées}} = 1605613,303 \text{ kcal/h}$$

III.4 Calcul des pertes totales

$$Q_{\text{pertes totales}} = Q_{\text{parois}} + Q_{\text{fumées}}$$

$$Q_{\text{fumées totales}} = 1596099,730 + 1605613,303$$

$$Q_{\text{pertes totales}} = 3201713,030 \text{ kcal/h}$$

Donc le rendement du four H101 est :

$$\eta = 1 - \frac{Q_{\text{perte totales}}}{Q_{\text{entrée}}} \longrightarrow \eta = 1 - \frac{3201713,030}{7980498,660}$$

$$\eta = 0,5988 = 0,5988 = 60\%$$

IV. Comparaison entre résultat réel et design**Tableau IV. 7:** comparaison entre résultat réel et design

	Cas réel	Cas design
Rendement du four H101	60%	80%

Conclusion

Conclusion

Conclusion

Ce travail a été réalisé dans le cadre des conventions établies entre le département de génie des procédés de l'université de Mostaganem et la raffinerie d'Arzew (RA1Z). Dans cette étude, nous avons essayé de remédier aux problèmes liés à la diminution du rendement de fonctionnement actuel du four H101 de la raffinerie d'Arzew de l'unité 100 dans la zone 5.

Il est démontré que le rendement du four H101 est de 80 % dans les conditions de conception (design), tandis qu'il est d'environ 60 % dans les conditions actuelles (calculés). On remarque que le rendement calculé est inférieur à celui du design.

Afin d'améliorer le rendement thermique du four H101 et le préserver nous proposons les solutions suivantes :

- ✓ Suivre régulièrement les analyses de la composition du fuel gaz, car le combustible influe d'une façon directe sur le rendement du four.
- ✓ Effectuer un décokage régulier du four pour éliminer l'encrassement des faisceaux afin de maintenir un rendement satisfaisant.
- ✓ Nettoyage régulier des colonnes de distillation sous vide.
- ✓ Installer un nouvel échangeur de chaleur à faisceau et calandre.

Bibliographie

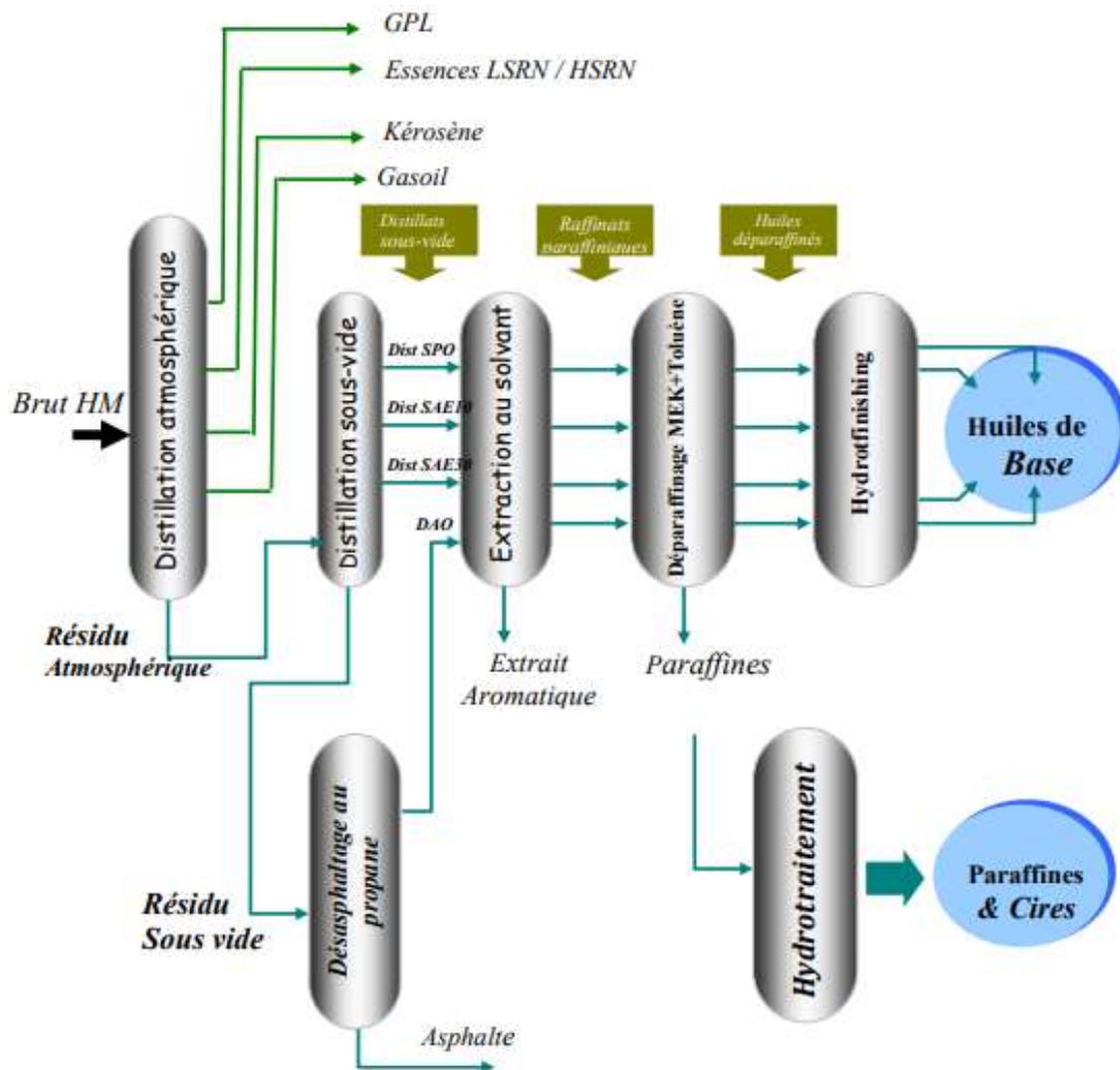
LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] : Historique et présentation de la raffinerie.
- [2] : Situation du complexe, direction technique, complexe RA1Z, activité aval, Sonatrach, 2001.
- [3] : Manuel opératoire de raffinerie
- [4] : J.P. Wauquier, Procédés de séparation, vol. II, Paris : Edition Technip, Paris 1998.
- [5] : R. Meyers, Handbook of Petroleum Refining Processes, 2nd Edition, Mc-Graw Hill, 1997
- [6] : A. Schilling, les huiles pour moteurs et le graissage des moteurs, vol.3.TECHNIP OPHRYS EDITIONS, 1975.
- [3] : zadorozhanaya, I, levanoet o. oskina -study of viscosite of modem motor oils, procedia engineering, serie international conference on industrial engineering(icie-2016)
- [7] : (en)<<Introducing the SAE 8AND THE SAE 12VISCOSITY GRADES>>SUR OIL SPECIFICATION.ORG.
- [8] : Les huiles usagées « Raffinage et valorisation énergétique » François AUDIBERT. Edition Technip. IFP. Paris 2003
- [9] : J. P. WAUQUIER. « Le raffinage du pétrole ». Tome I, édition technique, IFP.1994.
- [10] : A. LEONTIEV, Théorie des échanges de chaleur et de masse – Édition Mir-Moscou_ J.F. SACADURA Initiation aux transferts thermiques - Technique etDocumentation – Paris
- [11] : Manuel opératoire de HB3.
- [12] : Manuel opératoire : sur les procédés de fabrication des huiles de base {au niveau de la raffinerie d'Arzew.
- [13] : Nouveau manuel opératoire de HB4.
- [14] : Raffinage au furfural : cours de la formation de la société française foster Wheeler volume 3 au niveau de la raffinerie
- [7] : Nouveau manuel opératoire HB4.
- [15] : Manuel opératoire : sur les procédés de fabrication des huiles de base {au niveau de la Raffinerie d'Arzew

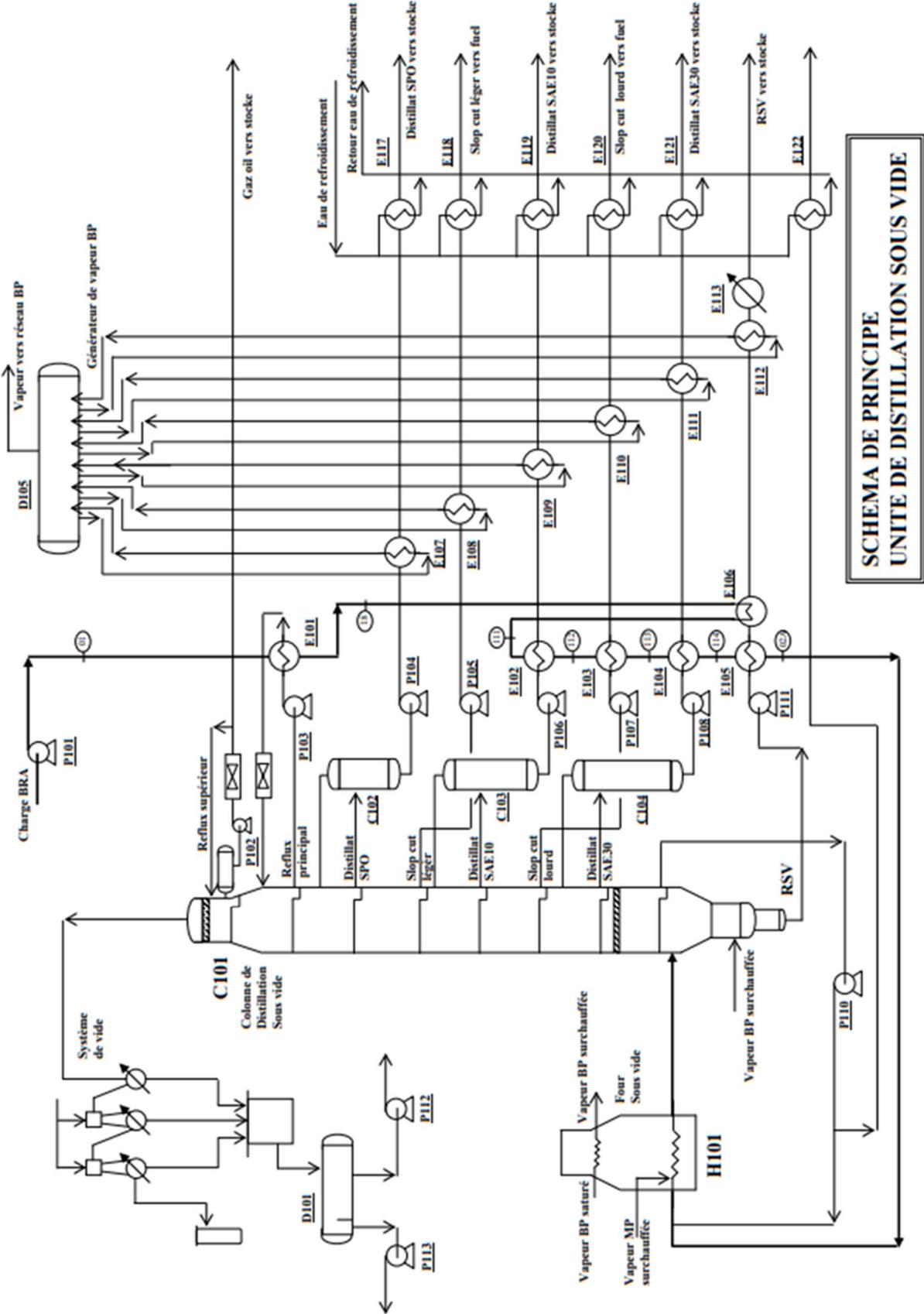
Les Annexe

Les Annexe

Annexe A : La chaîne de fabrication des huiles de base



Annexe B : Schema de principe unite de distillation sous vide.



Les Annexe

Annexe C : Chaleur spécifique des hydrocarbures gazeux et de quelques gaz sous pression atmosphérique.

