

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

Mr MATALLAH Mohamed amine

et

Mr BETTAHAR Talha

Filière : Génie des Procédés

Option : Raffinage

Evaluation des performances des fours de la chaine de production des huiles lubrifiantes de la raffinerie d'Arzew (ZONE 07)

Devant le jury :

Nourredine BENTAHAR	Prof	USTHB	Président
Laid BELAMRI	MAA	UMBB	Examineur
Kahina BEDDA	MCA	U MBB	Encadreur

Année Universitaire : 2020/2021

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université M'Hamed Bougara – Boumerdès
Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie

AUTORISATION DE SOUTENANCE

Département : Génie des Procédés Chimiques et Pharmaceutiques

Je soussigné : Dr BEDDA Kahina

Enseignante encadrant les étudiants: MATALLAH Mohamed et BETTAHAR Talha

Du groupe : MARA/16

Thème : Evaluation des performances des fours de la chaîne de production des huiles lubrifiantes de la Raffinerie d'Arzew (ZONE 07)

Autorise la soutenance le :

L'encadreur

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A ma très chère mère, ma raison de vivre, celle qui m'a soutenue jusqu' à la fin, avec son grand amour et son aide inestimable.

A mon cher et meilleur papa du monde qui a consacré tous les moyens pour y arriver, il sera inchaallah heureux et fier de ce modeste travail.

« Que dieu vous Protège »

A la mémoire de mon grand-père , que le bon dieu l'accueille dans son vaste paradis.

A la plus chère personne zegaoua marwa et toute sa famille A mes sœurs : Amina ,khadidja , souad et leurs fille sirine A mes chers frères : sidahmed , Abdelhadi

A mon binôm Talha et tout sa famille A toute ma famille, cet ensemble de personnes qui forment comme une forteresse au fond de nous et où l'on peut se réfugier à tout moment.

A tous les amis que j'ai eu la chance d'avoir.

A tout le groupe MARA 16

A ceux qui me sont chers et à tous ceux qui m'aiment.

Mohamed

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A ma très chère mère, ma raison de vivre, celle qui m'a soutenue jusqu' à la fin, avec son grand amour et son aide inestimable.

*A mon père
« Que dieu vous Protège »*

A mes sœurs

A mes chers frères que j'aime beaucoup

A toute ma famille, cet ensemble de personnes qui forment comme une forteresse au fond de nous et où l'on peut se réfugier à tout moment.

A mon binôme Mohamed et tout sa famille

A tous mes amis et à tout le groupe MARA 16

Et à ceux qui me sont chers et à tous ceux qui m'aiment.

Talha

Remerciements

Je tiens à remercier notre dieu

Je tiens à adresser mes vifs remerciements à mon encadreur Mme K. BEDDA pour le choix de ce sujet qui est très intéressant et de m'avoir dirigé et Orienté pendant toute la durée de la préparation du mémoire

Mes Remerciements vont éventuellement au Prof N. BEN TAHER pour nous avoir honorer par sa présence et d'avoir accepté de présider le jury de notre soutenance.

Un grand merci au Prof L. BELAMRI pour avoir accepté de faire partie du jury de notre soutenance.

Je remercie également toutes les personnes qui ont collaboré à ce travail de loin ou de près et qui m'ont orienté et dirigé afin d'améliorer mes connaissances,

Résumé

ملخص

بسبب الظروف القاسية التي تتعرض إليها المحركات مثل الحرارة الشديدة، ارتفاع الضغط، الاحتكاك الجاف والصدمات المفاجئة، وجد المنتجون أنفسهم في الالتزام بحمايتها لتمديد مدة عملها. ولهذا استجاب مكرر البترول بتوفير تزييت كاف وفعال لأجل إخلاء الحرارة بفل الزيت المعدني المستخرج من النفط الخام بعد خضوعه لعمليات الفصل المختلفة من أجل تحسين صفاتها وضمان أدوار معينة مثل التشحيم، القضاء على السرعات الحرارية وتنظيف المحرك. تتميز الزيوت المعدنية بخصائص ريولوجية بما في ذلك اللزوجة التي تتحكم في وظيفة التشحيم، مؤشر اللزوجة ونقطة التدفق. وكذلك الخصائص الحرارية والقابلة للاشتعال. هذه الخصائص الحرارية والقابلة للإشعال. يمكن تحسينها بمواد كيميائية تسمى المضافات من أجل تحسين مقاومتها للأكسدة، انخفاض نقطة التجمد، ورفع مؤشر اللزوجة، والمساهمة في نظافة المحرك وتوفير الحماية ضد التآكل والصدأ. ومع ذلك، فإن وجود المضافات بكميات كبيرة لاتزال ضارة. لهذا السبب، يجب علينا إنتاج زيوت ذات نقطة تجمد منخفضة يضمن تشغيل المحرك في درجات حرارة منخفضة وفي نفس الحين يجب علينا ان ننتج كمية كافية لتغطية السوق الوطنية ولما لا تصدير الزيوت المعدنية الجزائرية .

الكلمات المفتاحية : زيوت التشحيم،التقطير الفراغي، نزع الاسفلت، استخلاص العطريات، ازالة الشمع،معالجة نهائية

Résumé

À cause des conditions sévères que les moteurs en mouvement subissent comme la chaleur extrême, les pressions élevées et les frottements secs ainsi que les chocs brutaux ; les producteurs se sont trouvés dans l'obligation de les protéger pour prolonger leur fonctionnement. Pour cela le raffineur a répondu présent et leur a fourni une lubrification adéquate et une évacuation de chaleur efficace et cela à partir de l'huile minérale issue du pétrole brut et ayant subi des procédés de séparation divers afin d'améliorer ses qualités et d'assurer certains rôles tels que : la lubrification, l'élimination des calories et le nettoyage des organes du moteur grâce à une circulation active favorisée par une grande fluidité. Une huile minérale est caractérisée par des propriétés rhéologiques dont la viscosité qui gouverne la fonction de lubrification, l'indice de viscosité (VI) et le point d'écoulement ; des propriétés superficielles : la détergence et dispersion ; ainsi que des propriétés thermiques et d'inflammabilité. Ces propriétés peuvent être améliorées par des produits chimiques qu'on appelle additifs. Ces derniers améliorent la résistance à l'oxydation, abaissent le point d'écoulement, élèvent le VI, contribuent à la propreté du moteur et assurent une protection contre l'usure et la corrosion. Néanmoins, la présence des additifs en grandes quantités reste nocive. Pour cela, on doit produire une huile de base avec un

Résumé

point d'écoulement bas qui garantit le bon fonctionnement du moteur avec un ajout minime d'additifs. En même temps, on doit produire une quantité suffisante pour répondre aux besoins du marché national et pourquoi pas exporter une huile minérale Algérienne.

Mots clés : huiles lubrifiantes, distillation sous-vide, désasphaltage, extraction des aromatiques, déparaffinage, traitement de finition.

Summary

Due to the severe conditions that moving engines undergo such as extreme heat, high pressures and dry friction as well as shocks; producers have been under the obligation of protecting them in order to prolong their operation. That's why, the refiner has responded and provided them with adequate lubrication and efficient heat removal from mineral oil which had undergone various separation processes in order to improve its qualities and assure certain roles such as: lubrication, elimination of calories and cleaning the motor components thanks to an active circulation promoted by great fluidity. A mineral oil is characterized by rheological properties: viscosity, the viscosity index (VI) and the pour point; superficial properties: detergency and dispersion; as well as thermal and flammability properties. Chemical products that we call additives could ameliorate these properties. This latter improve resistance to oxidation, lower the pour point and results in elevating the VI, contribute in the clearness of the motor in order to ensure the protection against wear and corrosion. However, the presence of additives in large quantities remains harmful. For this purpose, the oil has to be produced with a low pour point, which guarantees the correct operation of the engine with a minimal addition of additives. At the same time, we should produce a sufficient quantity to meet the needs of the national market and why not export an Algerian mineral oil.

Keywords : lubricating oils, vacuum distillation, deasphalting, aromatics extraction, dewaxing, finishing treatment.

Sommaire

Abréviations	I
Notations	II
Liste des tableaux	IV
Liste des figures	V
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralité sur les huiles lubrifiantes	
Introduction.....	3
I.1-Lubrification.....	3
I.2-Les fonctions du lubrifiant.....	4
I.3 - Les trois grandes tendances chimiques des huiles.....	5
I.4 - Classification des huiles.....	8
I.5 – Caractéristiques générales des huiles.....	10
Chapitre II : Chaîne de fabrication des huiles	
II.1- Chaîne de fabrication des Huiles lubrifiants.....	16
II.2- Additifs pour l'amélioration des qualités des huiles lubrifiantes ...	40
Chapitre III : Généralité sur les fours	
III.1Introduction.....	41
III.2Utilisation des fours tubulaires en raffinerie.....	41
III.3 Caractéristiques générales des fours tubulaires	42
III.4Description et construction des fours.....	43
III.5-Les types des fours	49
III.6 Modes de transfert de chaleur	54
III.7 La Combustion.....	55

Sommaire

Chapitre IV :	calcul des fours	
IV.1- étude de cas réel		59
IV.2-étude de cas design		74
IV.3- Comparaison entre le cas réel et le cas design.....		77
Conclusion.....		78
Référence bibliographiques		79

Abréviations

RSV : Residu Sous Vide

VGO : Vaccum Gas Oil

MVO : Middle Viscouse Oil

SPO : SPindle Oil

VO : Viscouse Oil

BS : Brighte Stock

SAO : Desasphalted Oil

RCD : rotatif Disk Contator

ASTM : American Society For Testing And Materials.

VI : Indice De Viscosité

Abréviations

Notations

VI : Indice De Viscosité

U : Unité

Z : Zone

C : Celsius

T : Température

mmHg : Mili Mètre Mercure

E : Echangeur

G : pompe

D : Ballon

C : Colonne

K : Ejecteur

F : Réchauffeur

D_{25}^4 / Densité à 25°C

HP : Haute Pression

BP : Basse Pression

Cst : Centistoke

E(%) : Exerces d'air

η : Rendement des four de la chaîne de fabrication des huiles de base.

Q_1 : Perte de chaleur à travers la réfracteur à garnissage

Q_2 : Perte de chaleur par fumées

Q_T : Quantité de chaleur total libérée

Q_L : quantité de chaleur libérée par le fuel gaz

$Q_{S.AIR}$: Chaleur sensible de l'air à l'entrée du four

$Q_{S.FUMES}$: Chaleur sensible du fuel gaz à l'entrée du four

Notations

PCI : Pouvoir Calorifique Inferieur

Y_i : pourcentage molaire des différents constituants du gaz combustible

M_i : Masse molaire des différents constituants du gaz combustible

$P_{\text{Fumées}}$: Masse volumique des fumées

P_{com} : Masse volumique du gaz combustible

G_f : Debite des fumées par 1 m³ de gaz brulé

N_f : Nombre de Kmole total dans les fumées

X : le nombre de Kmole d'oxygéné dans les fumées

g_f : Débit des fumées pour 1 m³ de gaz brule

CP : Chaleur Spécifique

DA : Dinar algérien

Notations

Liste des tableaux

Tableau I.1	Relation entre la composition chimique du pétrole brut de tendance paraffinique et quelques propriétés des huiles	Page 6
Tableau I.2	Relation entre la composition chimique du pétrole brut de tendance naphthénique et quelques propriétés des huiles	Page 7
Tableau I.3	Relation entre la composition chimique du pétrole brut de tendance aromatique et quelques propriétés des huiles	Page 8
Tableau II.1	Effet de la proportion du solvant sur rendement et qualité du raffinat	Page 25
Tableau IV. 1	Composition du fuel gaz	Page 59
Tableau IV.2	Calcul du pouvoir calorifique inférieur du fuel gaz	Page 61
Tableau IV.3	Calcul de masse volumique de fuel gaz	Page 62
Tableau IV.4	Composition Des Fumées	Page 63
Tableau IV.5	La composition des fumées pour 100 Kmoles de fuel gaz brûlé	Page 63
Tableau IV.6	La composition des fumées en % molaire	Page 64
Tableau IV.7	Calcul de la masse volumique des fumées	Page 64
Tableau IV.8	Calcul de la quantité de chaleur dégager par les fumées	Page 65
Tableau IV.9	Composition des fumées de l'unité 22 : désasphaltage au propane	Page 67
Tableau IV.10	Composition des fumées l'unité 23 : extraction au furfural (23F1)	Page 68
Tableau IV.11	Composition des fumées du four de l'unité 23 : extraction au furfural (23F2)	Page 69
Tableau IV.12	Composition des fumées du four de l'unité 24 déparaffinage au MEC/TOLUENE (24F1)	Page 70
Tableau IV.13	Composition des fumées du four de l'unité 24 déparaffinage au MEC/TOLUENE (24F2)	Page 71
Tableau IV.14	Composition des fumées du four de l'unité 25 hydrofinishing (25F1)	Page 72
Tableau IV.15	Résultats des calculs réels des four de la zone 07	Page 73

Liste des tableaux

Tableau IV.16	Composition design du fuel gaz	Page 74
Tableau IV.17	Composition des fumées du four 21F1	Page 75
Tableau IV.18	résultats des calculs réels des four de la zone 07	Page 76
Tableau IV.19	Comparaison entre le ca réel et le cas design du zone 07	Page 77

Liste des figures

Figure I.1 Influence de la consommation du réactif au cours du raffinage sur l'oxydation des huiles	Page 13
Figure II.1 chaîne classique de fabrication des huiles	Page 16
Figure II.2 Distillation sous vide destinée à la fabrication des huiles de base	Page 18
Figure II.3 rendement en huile	Page 21
Figure II.4 Point de ramollissement de l'asphalte	Page 21
Figure II.5 Schéma du désasphaltage au propane	Page 23
Figure II.6 Relation entre le VI, le rendement en fonction de la température du traitement 1 - Indice de viscosité 2 - Rendement en huile épurée	Page 24
Figure II.7 Schéma de l'extraction	Page 29
Figure II.8 étapes du processus du déparaffinage	page 30
Figure II.9 Schéma d'un filtre rotatif sous vide continu	Page 31
Figure II.10 Schéma de fonctionnement d'un filtre rotatif	Page 32
Figure II.11 Schéma fonctionnel d'un filtre rotatif	Page 33
Figure II.12 Schéma de principe de l'unité de déparaffinage	Page 34
Figure I.13 Schéma de l'unité de ferrofining	Page 34
Figure III.1 Four Tubulaire	Page 45
Figure III.2 Les fours cylindriques verticaux	Page 49
Figure III.3 Les fours dits «boites a tubes verticaux	Page 50
Figure III.4 Les fours dits "cabines" A tubes horizontaux	Page 52
Figure III.5 Les fours a chauffage par murs radiants	Page 53
Figure III.6 Les fours dits a double chauffe	Page 54

Liste des figures

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Le pétrole a pris une place considérable dans la civilisation, non seulement parce qu'il est producteur d'énergie qui, avec le gaz naturel, fournit 60% des besoins énergétiques mondiaux mais aussi que les hydrocarbures qui le composent permettent la fabrication de 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, il a permis de fabriquer les lubrifiants dont l'industrie a besoin. Ces différents produits sont obtenues à partir du raffinage du pétrole.

Le raffinage désigne l'ensemble des traitements et transformations visant à tirer du pétrole le maximum de produits à haute valeur commerciale. Selon l'objectif visé, en général, ces procédés sont réunis dans une raffinerie. Le raffinage consiste en une série d'opérations qui visent à améliorer les caractéristiques et la qualité des produits pétroliers finis. Les produits issus de l'extraction pétrolière, avant de les utiliser, doivent passer par l'étape du raffinage, cette opération purifie le brut et le transforme en produits finis de composition variée, adaptés aux usages que l'on souhaite en faire, tels que l'essence, le kérosène, le gasoil, les huiles et les bitumes.

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 des bruts traités. On transforme ensuite la plupart de ces produits de distillation en produits plus facilement utilisables, en modifiant leurs structures physiques et moléculaires 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'hydrotraitement, l'extraction, etc. pour l'obtention des produits finis. Dans les raffineries les plus simples, on s'en tient habituellement à la distillation atmosphérique et à la distillation sous vide.

Les huiles lubrifiantes sont des liquides visqueux composés des huiles de base d'origine pétrolière ou synthétique et d'additifs, elles sont indispensables pour assurer le bon fonctionnement d'un moteur. En Algérie, les huiles lubrifiantes sont principalement obtenues au niveau de la raffinerie d'Arzew. L'objectif de notre travail consiste à faire le calcul de vérification des fours 22F1, 23F1, 23F2, 24F1, 24F2 et 25F1 qui se trouvent dans les différentes unités de traitement des huiles de base de la ZONE 07 de la raffinerie d'Arzew.

Introduction générale

Le présent mémoire est subdivisé en deux parties :

- Une partie théorique composée de trois chapitres :
 - 1-Généralités sur la lubrification.
 - 2- Chaine de fabrication des huiles.
 - 3-Généralités sur les fours.
- Une partie pratique consacrée au calcul de vérification des rendements des fours dans les deux cas actuel et design.

Introduction générale

Chapitre I :

Généralité sur les lubrifiantes

I.1 Introduction :

Afin de réduire le frottement, l'usure entre deux pièces en contact et en mouvement et pour une protection durable contre tout agent extérieur pour toute machine mécanique ou thermique d'un tracteur, d'avion, ou de voiture, ou encore en biologie dans le fonctionnement des articulations, l'utilisation des lubrifiants était et reste une nécessité primordiale. A une époque non lointaine la qualité de ces huiles, la protection de l'environnement et la sécurité ne jouaient pas un rôle particulièrement déterminant et passaient au second plan.

Avec le développement et l'évolution de la technologie des moteurs quels que soient, les huiles lubrifiantes en parallèle se sont développées rapidement et sont devenues des centres d'activité et d'intérêt. Les règlements et les spécifications techniques sont demandés à l'industrie pétrolière presque quotidiennement. Une série de nouveaux procédés de plus en plus performants dont la mise en œuvre a impliqué des efforts de recherche et des investissements considérables coûteux afin de satisfaire la demande aussi bien au point de vue quantitatif que qualitatif.

Devant remplir toutes ces exigences, les huiles lubrifiantes, produits à fonctions multiples, doivent sans cesse progresser aux évolutions que connaissent actuellement divers secteurs vitaux comme les transports, l'agriculture, les travaux publics et d'autres.

Sous le vocable lubrifiant, on désigne tout corps utilisé pour éviter tout contact de deux corps qui se déplacent l'un par rapport à l'autre afin d'atténuer le frottement et l'usure entre ces deux pièces.

Donc, les lubrifiants ou les huiles de graissage sont des fractions pétrolières visqueuses à haut point d'ébullition obtenues à partir du résidu atmosphérique dans la colonne sous vide, débarrassées des impuretés indésirables.

Avant de passer à la lubrification et aux propriétés des huiles, voyons ce que sont le frottement et l'usure :

I.2 Lubrification :

C'est faciliter le glissement et éviter que les aspérités (ou saillie : inégalité d'une surface) des surfaces n'entrent en contact, s'accrochent, se soudent et se brisent en interposant un film onctueux. Or tous les fluides qu'elles que soient leur force de cohésion ou d'adhésion, placés entre deux surfaces, ont tendance à les séparer l'une de l'autre, donc à réduire le frottement.

C'est ainsi qu'on assure la protection contre l'usure et la corrosion ainsi que l'étanchéité du joint mobile entre les surfaces.

Donc deux surfaces ainsi séparées par un fluide sont dites lubrifiées. Pour que la lubrification soit suffisante, le film formé entre les deux surfaces, doit avoir une épaisseur supérieure aux hauteurs des aspérités.

On peut supposer que le film se compose d'un certain nombre de couches accrochées les unes aux autres par les forces de cohésion. Les couches extrêmes, en contact avec le métal, restent adhérentes aux surfaces lorsqu'on déplace les pièces alors que les couches intermédiaires glissent les unes sur les autres.

Si les couches du film sont en nombre important la lubrification sera suffisante. Dans ce cas, les couches peuvent glisser librement les unes sur les autres, les surfaces étant nettement séparées. On est alors en régime fluide.

Si les couches du film sont en nombre réduites, la lubrification sera partielle : les couches glissent difficilement les unes sur les autres, les surfaces rompent de temps en temps le film lubrifiant, les aspérités entrent en contact.

I.3 Les fonctions du lubrifiant :

I.3.1 Fonction principale :

La lubrification est la fonction principale de l'huile minérale, elle est destinée à réduire, comme nous l'avons dit plus haut, les frottements entre les pièces en mouvement en vue :

- d'assurer la sécurité de fonctionnement en évitant les contacts métal-métal qui entraîneraient le grippage.
- de réduire l'usure.
- de réduire l'énergie dissipée par le frottement.

I.3.2 Fonctions secondaires :

- Évacuation de la chaleur en vue d'un équilibre thermique.
- Étanchéité : dans les moteurs, l'huile tend à réduire les fuites et à améliorer le rendement de la machine.
- Protection contre la corrosion : l'huile doit limiter ou combattre l'action corrosive des produits résultants de sa propre dégradation ou de gaz de combustion acide ou de l'humidité.
- Evacuation ou prise en charge des déchets : les particules métalliques d'usure, la poussière, les résidus de combustion, les produits solides, résultants de l'altération du lubrifiant.
- Transmission d'énergie.

I.3.3 Effets à éviter :

- Attaque ou dégradation des métaux en présence du lubrifiant.
- Dégradation des propriétés de l'huile sous l'action des contraintes mécaniques, thermiques ou chimiques.

I.4 Les trois grandes tendances chimiques des huiles :

Les huiles de base répondent à trois grandes tendances chimiques de caractères spécifiques particuliers, ce sont :

A - La tendance paraffinique :

Les paraffines ramifiées qui sont les plus intéressantes doivent être en quantité appréciable dans les fractions lubrifiantes des bruts paraffiniques. Par contre les paraffines à chaîne droite de poids moléculaire élevé augmentent la température de congélation des huiles et doivent être retirées par déparaffinage (tableau I.1)

Ces familles d'huiles riches en hydrocarbures paraffiniques sont caractérisées par

A.1 - Leur faible densité pour une viscosité donnée.

Exemple: en prenant plusieurs huiles à viscosité égale à 50°C, on peut dire que la plus paraffinique parmi ces huiles est celle qui a la densité la plus faible. Pour les huiles moteur cette densité est comprise entre 0,88 – 0,89.

A.2 - La variation relativement faible de la viscosité en fonction de la température.

Ce caractère traduit par l'indice de viscosité IV. Les huiles de tendance paraffinique ont des VI élevés, généralement voisins de 100 pour la gamme des huiles moteur.

A.3 - La faible volatilité pour une viscosité donnée

L'intervalle de température de distillation de l'huile de viscosité déterminée est d'autant plus élevé que l'huile est plus paraffinique. Cette qualité se traduit en particulier par des points d'inflammation élevés pour une viscosité donnée.

A.4 - leur faible pouvoir solvant Il peut être traduit par un point d'aniline relativement élevé de 80 à 85°C ce qui traduit en pratique par une tendance prononcée à la précipitation des produits d'altération des huiles

Tableau I.1 : Relation entre la composition chimique du pétrole brut de tendance paraffinique et quelques propriétés des huiles

Types d'hydrocarbures	Propriétés les plus importantes
<p>Paraffines à chaînes droites</p> $ \begin{array}{c} \text{H} \qquad \qquad \text{H} \\ \qquad \qquad \\ \text{H}-\text{C} \text{-----} \text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \qquad \qquad \\ \text{H} \qquad \qquad \text{H} \end{array} $	<ul style="list-style-type: none"> - Variation très faible de viscosité en fonction de la température - Bonne résistance à l'oxydation - Point d'écoulement haut
<p>Paraffines à chaînes ramifiées (isomères)</p> $ \begin{array}{c} \qquad \qquad \qquad \text{H} \\ \qquad \qquad \qquad \\ \qquad \qquad \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \qquad \qquad \qquad \\ \qquad \qquad \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \qquad \qquad \qquad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \qquad \qquad \\ \text{H} \quad \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \qquad \qquad \\ \qquad \qquad \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \qquad \qquad \\ \qquad \qquad \text{H} \end{array} $	<ul style="list-style-type: none"> - Variation très faible de viscosité en fonction de la température - Bonne résistance à l'oxydation - peuvent avoir un point d'écoulement haut

. B – La tendance naphénique : (tableau I.2)

Les naphénés ayant seulement quelques cycles par molécule et possédant de longues chaînes paraffiniques sont les composés désirés dans les huiles de graissage (tableau I.2). Ces types d'hydrocarbures se caractérisent par :

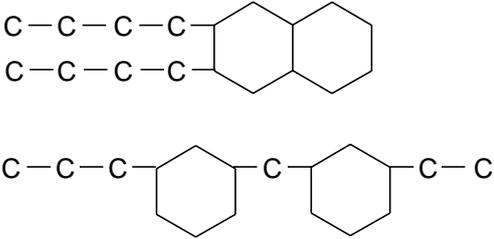
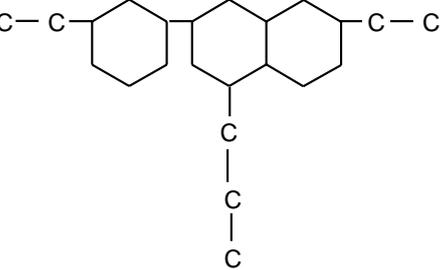
B.1- Une densité relativement élevée pour une viscosité donnée. Pour les huiles moteur de base cette densité est souvent supérieure à 0,90.

B.2- Des variations assez rapides de viscosité en fonction de la température. Les VI sont relativement faibles de l'ordre de 40 à 60.

B.3- Une plus grande volatilité que la fraction paraffinique. Les points d'inflammabilité sont relativement bas.

B.4- Un pouvoir solvant élevé : Les points d'aniline sont inférieurs à ceux des paraffines.

Tableau I.2 : Relation entre la composition chimique du pétrole brut de tendance naphténiqne et quelques propriétés des huiles

Types d'hydrocarbures	Propriétés les plus importantes
<p>Naphtènes cycliques avec des ramifications paraffiniques latérales longues</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - pas grande variation de viscosité en fonction de la température - bonne résistance à l'oxydation -peuvent avoir un point d'écoulement meilleur
<p>Naphtènes cycliques avec ramifications paraffiniques latérales courtes</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - bonne résistance à l'oxydation - point d'écoulement bas - variation rapide de viscosité en fonction de la température

C – La tendance aromatique :

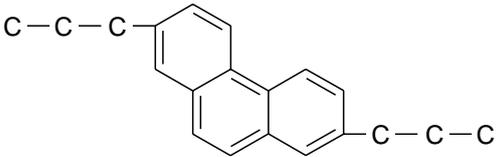
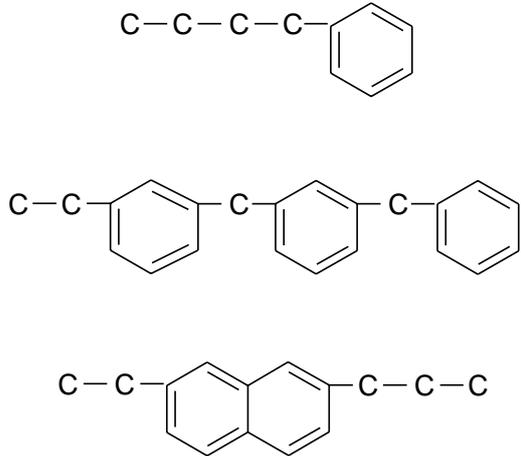
Ces fractions présentent des qualités plus accusées que les hydrocarbures naphténiqnes (tableau n° 1.3).

Leur densité est très élevée et leur indice de viscosité très faible, donc leur importance dans la composition des huiles finies est limitée.

Au contraire ils sont plus ou moins agressifs. Ils sont chimiquement actifs et leur caractère essentiel dans les huiles est leur altérabilité (changer la nature de ces huiles). Ils sont facilement oxydables et provoquent la formation des produits résineux ou asphaltiques accompagnés de dérivés corrosifs.

Les points d'aniline sont plus inférieurs à ceux des naphènes et des paraffines, donc ils possèdent un pouvoir solvant élevé.

Tableau I.3 : Relation entre la composition chimique du pétrole brut de tendance aromatique et quelques propriétés des huiles

Types d'hydrocarbures	Propriétés les plus importantes
<p>Aromatiques cycliques avec des ramifications paraffiniques latérales courtes</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -point d'écoulement change selon la composition chimique - variation de la viscosité en fonction de la température - s'oxydent facilement - bonne résistance à la chaleur
<p>Aromatiques cycliques avec des ramifications paraffiniques latérales longues</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - variation faible de la viscosité en fonction de la température - grande résistance à l'oxydation lorsque le nombre de cycles est petit - peuvent avoir un point d'écoulement faible

I.5 Classification des huiles :

On classe les huiles selon leur mode de séparation en 3 catégories :

- huiles distillats appelées huiles de base, obtenues à partir de la colonne sous-vide.
- huiles résiduelles obtenues à partir du désasphaltage du résidu sous-vide par le C₃.
- huiles mixtes obtenues par mélange des 2 premières.

D'après leur destination on les classe :

les huiles industrielles.
les huiles cylindres.
les huiles isolantes.
les huiles de turbine.
les huiles de coupe.
les huiles moteur.
les huiles spéciales.
les huiles noires.

I.5.1 Les huiles industrielles : sont divisées à leur tour en trois groupes :

- ❖ Légères $\gamma_{50} = 4-10$ cSt. Elles sont utilisées surtout dans l'industrie du textile pour le graissage des machines de petite puissance avec une grande vitesse de rotation (400 – 1400 t/min). Elles sont appelées huiles à broches ou spindle oil par rapport à son utilisation dans la lubrification des fuseaux. Elles sont caractérisées par leur faible viscosité, leur bonne capacité à la lubrification et à leur bonne stabilité à l'oxydation.
- ❖ Moyennes $\gamma_{50} = 12-50$ cSt. Elles sont utilisées pour lubrifier les pompes, les machines agricoles, les machines-outils dont la vitesse et la puissance sont moyennes.
- ❖ Lourdes $\gamma_{100} = 9-36$ cst. On les utilise pour la lubrification des pièces de machines avec une petite vitesse de rotation, mais avec une grande puissance.

I.5.2 Les huiles cylindre : $\gamma_{100} = 20 - 70$ cSt, sont utilisées pour lubrifier les cylindres des machines à vapeur et leur pistons. Elles doivent posséder une bonne stabilité à l'oxydation.

I.5.3 Les huiles isolantes : elles sont employées pour l'isolation et le refroidissement des enroulements (bobinage des machines électriques) et du noyau de transformation et pour les interrupteurs électriques, d'où leur épuration est trop demandée la viscosité $\gamma_{50} = 9,5$ cSt. Elles doivent être stables à l'oxydation, et que toute trace d'eau doit être éliminée.

I.5.4 Les huiles de turbine : Ces huiles sont utilisées pour la lubrification et le refroidissement des paliers des turbines à vapeur et hydraulique, des alternateurs et des génératrices. Leur viscosité $\gamma_{50} = 22 - 48$ cSt.

I.5.5 Les huiles de coupe : Utilisées pour le travail des métaux : tours automatiques, taille des engrenages (mécanisme formé de roues dentées en contact), emboutissage à froid (travailler au marteau un métal-tôlier), laminage (réduire une masse métallique) et trempe (immersion dans un bain froid d'un métal). Ces huiles sont employées sous deux formes : soit directement,

soit en émulsion dans l'eau. Pour les machines tournantes, elles arrosent l'outil pour le refroidir, donc absorbent la chaleur dissipée et entraînent les copeaux métalliques.

I.5.6 Les huiles moteur : Ces huiles servent pour la lubrification des moteurs d'automobile, d'avion, de tracteurs (cylindres et piston). Pour les huiles d'avion, elles sont divisées selon la saison. En hiver elles doivent avoir une viscosité très faible et une température de congélation plus basse.

Hiver $\gamma_{100} = 14$ cSt

Eté $\gamma_{100} = 22 - 24$ cSt

I.5.7 Les huiles spéciales (blanches) ou huiles de vaseline : Ces huiles sont utilisées en pharmacie, et en médecine et même pour la lubrification des produits alimentaires, aussi les crèmes de beauté. Elles doivent être incolores, inodores, et sans saveur. La décoloration se fait à l'aide d'un traitement à l'acide sulfurique, suivi d'une neutralisation. On les utilise également pour le graissage d'outils et d'instruments de précision.

La viscosité est limitée :

- pour les huiles de médecine $\gamma_{50} = 28 - 36$ cSt
- pour les huiles de parfumerie $\gamma_{50} = 16 - 24$ cSt

I.5.8 Les huiles noires : Ce sont des huiles de qualité inférieure, obtenues par mélange de résidus lourds, de poix (mélange mou et agglutinant, à base de résines et de goudrons végétaux). Utilisées pour usages grossiers: essieux de wagons, machines agricoles, chaînes et câbles de convoyeurs.

I.6 Caractéristiques générales des huiles :

I.6.1 Caractéristiques physiques :

Les plus importantes sont la viscosité, les points d'écoulement et d'éclair, la couleur, la masse volumique et la densité.

- **La viscosité :** exprime la résistance interne à l'écoulement de l'huile, résistance due au frottement des molécules entre elles. Elle décroît quand la température s'élève et se mesure dans l'industrie en centipoises.
- **Le point d'écoulement :** est la température minimale à laquelle l'huile peut encore couler après avoir été refroidie jusqu'au point de figeage (point de congélation) sans agitation dans des conditions normalisées. Celui-ci doit être très bas pour assurer le démarrage du moteur à froid. Il est lié à la viscosité et à l'indice de viscosité.

- **Le point d'éclair** ou **flash point** : 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 l'huile.

Plus la température d'ébullition des parties les plus volatiles est haute, plus le point d'éclair est élevé.

- **La couleur** : est un critère de la qualité du fractionnement des huiles, son intensité est fonction du degré de raffinage.
- **La densité** : Si deux huiles ont une même viscosité à une t°C déterminée, mais de densités différentes, alors l'huile d'une plus faible densité contient des hydrocarbures présentant plus de valeur, au point de vue propriétés physique, que l'huile qui a une densité plus élevée.
- **Le pouvoir cokéfiant** : détermine la teneur en corps résineux et en hydrocarbures polycycliques. Il peut être considéré comme degré de raffinage (épuration) de l'huile à condition qu'on utilise les méthodes d'épuration avec une même matière première.
- **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.
- **La teneur en eau, en cendres et en impuretés** : déterminent le degré d'élimination des impuretés, donc influence directement sur le rendement des huiles.
- **L'onctuosité** caractérise la continuité et la solidité du film adhérent entre les pièces lubrifiées. Ce film parmi ces fonctions doit réduire les usures des éléments pendant le démarrage du moteur à froid.
- **La détergence** : cette caractéristique effectue la fonction de nettoyage et d'élimination des produits d'oxydation ou des dépôts carbonneux qui se forment pendant le fonctionnement sur les parois des cylindres et pistons.

I.6.2 Caractéristiques chimiques :

La plus importante est la tenue à l'oxydation, elle sert à éviter la formation des acides naphthéniques, des gommages, des asphaltènes qui provoquent la formation de dépôts entraînant la corrosion des pièces.

I.6.3 Caractéristiques principales d'utilisation :

Les caractéristiques principales du comportement des huiles liées à leur nature sont :

- La tenue à l'oxydation.
- La viscosité et sa variation en fonction de la température.
- La mobilité aux basses températures.

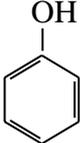
Tenue à l'oxydation : C'est la caractéristique qui représente la plus grande importance lors de l'utilisation de l'huile. Pendant l'utilisation de l'huile, il se forme des substances neutres et des substances acides :

- Les neutres sont : les alcools, les aldéhydes, les cétones, les esters, les résines et les asphaltènes.

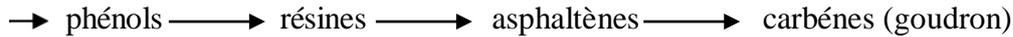
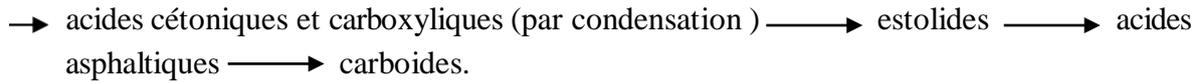
- Les alcools $R-CH_2OH$ et les esters $R-C(=O)OR'$ n'ont pas d'influence négative sur les propriétés des huiles.

- Les aldéhydes $R-C(=O)H$ et les cétones $R-C(=O)R'$ peuvent se condenser et augmenter la viscosité de l'huile.

- Les résines et les asphaltènes augmentent le pouvoir cokéfiant et la viscosité.

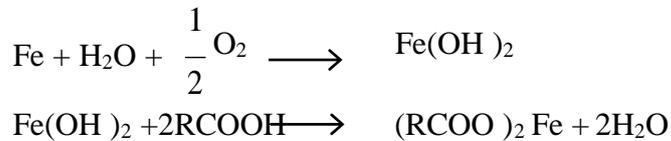
- Les acides organiques $R-C(=O)OH$ et les phénols 

Le schéma d'oxydation des huiles est le suivant :



Les acides à basse masse moléculaire corrodent directement le métal.

Les acides à haute masse moléculaire ne corrodent le métal qu'en présence d'eau.

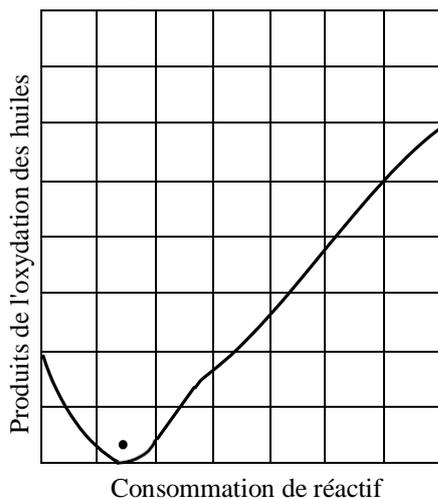


Les sels formés sont insolubles dans l'huile et se déposent partout (tuyaux, filtres, pièces).

Ils sont appelés schlamms (boues).

Les autres produits de condensation d'oxydation obtenus à haute température (estolides, carboides, carbènes) ont tendance à gêner le fonctionnement du système de graissage et mènent à l'usure des pièces (la viscosité augmente, usure du moteur). L'oxydation est accélérée à haute température et en présence de catalyseurs comme le cuivre, le plomb, le fer, les sels.

Quand le taux d'épuration de l'huile augmente, la tenue à l'oxydation du produit pétrolier s'élève puis tombe brusquement. Après l'oxydation de l'huile son acidité croît, sa teneur en produits denses (résines) ainsi que la viscosité augmentent.



La fig.I.1 montre l'influence de la consommation des réactifs au cours du raffinage sur l'oxydation des huiles

L'étude du phénomène a montré que quand on utilise de faibles quantités de produits

Fig. I.1. Influence de la consommation du réactif au cours du raffinage sur l'oxydation des huiles

d'épuration, cela conduit à l'extraction des composés instables, par suite de quoi on obtient un produit suffisamment stable à l'action de l'oxygène. En augmentant la quantité du réactif on extrait certains composés dont l'élimination affaiblit la tenue du produit final à l'oxydation. Le degré de raffinage du produit sera représenté par la quantité optimale représentée par le point minimale de la courbe.

On peut conclure que dans le mélange d'huile sont présents des composés formant l'oxydation des principaux hydrocarbures.

Cependant, il y a des distillats pétroliers renfermant des composés susceptibles à une oxydation facile. Parmi ceux-ci les non saturés et les produits résineux sont facilement oxydables.

Mais le comportement des hydrocarbures renfermant dans les huiles vis-à-vis de l'oxydation dépend de la nature chimique de ces hydrocarbures :

a) – Les naphthéniques s'oxydent facilement, (constituants principaux de l'huile). L'oxydation croît avec l'augmentation des cycles.

b) – Les aromatiques les plus complexes suivent les naphthéniques. Il s'ensuit que les aromatiques moins désirables dans les huiles sont les hydrocarbures polycycliques à chaîne aliphatiques courtes.

Les aromatiques en quantité suffisante protègent les naphthéniques.

c) – Enfin, les naphthéno-aromatiques s'oxydent avec formation de produits acides et ceux de polymérisation.

5.3.2- Viscosité : C'est la caractéristique de service la plus importante d'une huile. Elle est fonction de la température d'ébullition, de la masse moléculaire, de la nature chimique des groupes et de la structure des hydrocarbures.

La viscosité des fractions d'huile augmente avec l'augmentation des PI et PF. La densité et la masse moléculaire augmentent aussi.

La viscosité des fractions d'huile dépend de la composition chimique des pétroles à partir desquelles sont obtenues les huiles, ou du rapport entre les hydrocarbures entrant dans la composition de l'huile et les autres composés d'une part et les réactifs employés pour le raffinage de ces huiles (épuration pour les différentes méthodes) d'autre part.

Il importe de savoir les hydrocarbures renfermés dans l'huile qui lui confèrent une viscosité élevée

Hydrocarbures paraffiniques : Ils ont la plus faible viscosité. Les hydrocarbures de 20 à 25 atomes de carbone ont une viscosité extrêmement faible de 10 à 12 cSt à 38°C. Lorsque les hydrocarbures paraffiniques sont éliminés de l'huile, la viscosité de cette huile s'élève. Les hydrocarbures paraffiniques à chaînes ramifiées, leur viscosité s'élève quelque peu aux températures modérées 38 - 50°C et baisse aux températures élevées à 100°C.

Hydrocarbures cycliques : La viscosité des HC naphténiques et aromatiques est considérablement plus élevée que celle des paraffiniques. Elle est déterminée en fonction de la structure cyclique des hydrocarbures et les dérivés alcoyles. La viscosité augmente avec le nombre de cycles, la longueur de la chaîne, le nombre des chaînes d'alcoyle et le degré de ramification des chaînes latérales.

Pour une même structure cyclique, la viscosité varie comme suit :

Dans la série des homologues du cyclopentane du cyclohexane et du benzène.

- Les homologues du cyclohexane ont une viscosité élevée.
- Les homologues du benzène ont une viscosité très basse.
- Les homologues du cyclopentane ont une viscosité moyenne (se situe entre les deux premiers).



Cyclohexane > cyclopentane > benzène

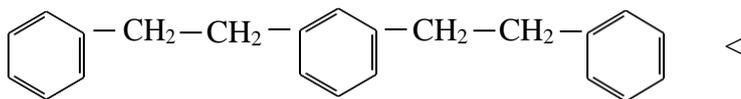
Pour les polycycliques naphténiques et aromatiques :

- viscosité alcoyles décaline > viscosité alcoyles naphthalène.
- viscosité aromatiques condense 3 cy et + > viscosité naphténiques correspondants.
- viscosité N - A condensés > viscosité N - A de même structure
- viscosité A polycycliques isolés < viscosité N polycycliques isolés.
- viscosité A polycycliques isolés + alcoyles > viscosité N polycycliques isolés + alcoyles.

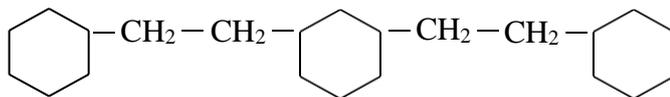


alcoyle décaline

alcoyle naphthalène



aromatiques polycycliques isolés



naphténiques polycycliques isolés

Donc en général : v paraffines < v naphténes < v aromatique

Chapitre II :

Chaine de fabrication des huiles

II.1 Chaîne classique de fabrication des huiles : (fig.II.1)

Le raffinage des huiles consiste à attribuer à ces huiles toutes les caractéristiques possibles citées plus haut, afin qu’elles puissent assurer les fonctions précitées. Ce qui nous amène à parler de la chaîne classique de fabrication des huiles lubrifiantes adoptée aujourd’hui par beaucoup de raffineries.

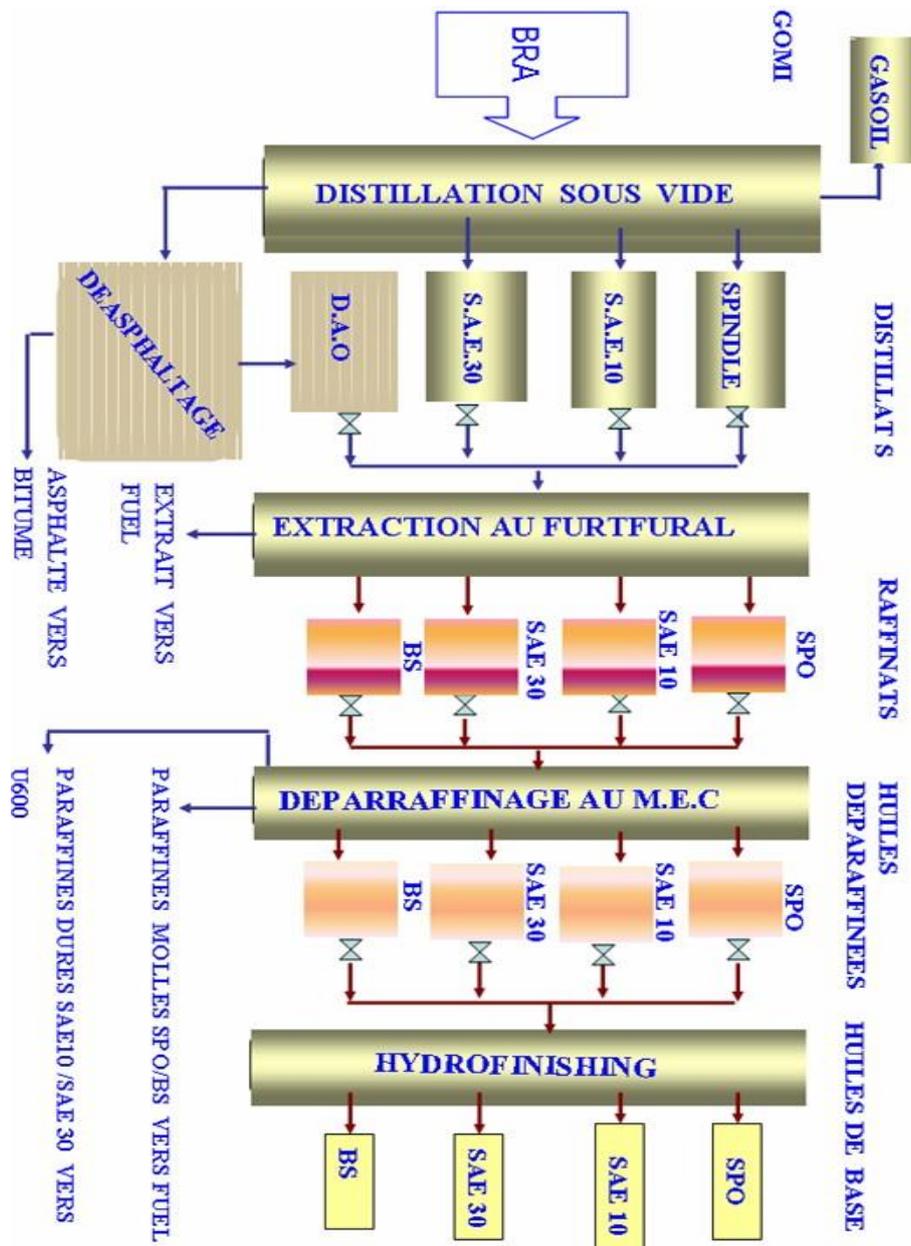


Fig II.1: chaîne classique de fabrication des huiles

II.2 Distillation Sous-Vide

Distillation sous vide (U21)

Principe de procédé :

L'unité de distillation sous vide (fig II.2) est conçue pour traiter 350000 tonnes/ an de BRA (brut réduit atmosphérique) afin d'obtenir diverses coupes latérales (DISTILLATS) et un résidu court (RSV)

Description du procédé :

L'unité est alimentée à partir des BACS de stockage de BRA T301, T302 à l'aide des pompes 21G1 A/B.

La charge d'alimentation est préchauffée jusqu'à 283°C en passant à travers les échangeurs de chaleur 21 E4 ABCD (VGO), 21E 5 ABCD (reflux moyen), 21 E 2 AB, 21 E8 AB (SR), 21 E 5 5(MVO), 21 E 7 (VO), Elle est ensuite chauffée dans le four 21F1 Jusqu'à 395°C (température de service). La charge chauffée pénètre tangentiellement dans la zone de flash de la colonne sous vide puis se sépare en deux phases vapeur et liquide. La phase vapeur ascendante est fractionnée en quatre coupes latérales au contact de 2 reflux circulants, tandis que la surchauffée est injectée au fond de la colonne.

Ces fractions légères seront récupérées dans les coupes latérales en distillats. Les pressions dans la zone de flash et en tête de colonne sont respectivement 180 mm Hg Et 80 mm Hg .

La colonne sous vide 21C1 est équipée de 28 plateaux (à clapets et à calottes). Les plateaux à clapets sont conçus pour le fractionnement et les plateaux à calottes sont adoptés pour le transfert de chaleur, la lavage et stripage.

Les principaux produits (distillats) d'huiles obtenues :

Gasoil Sous-Vide (VGO) :

Le VGO est soutiré vers le ballon de reflux 21 D1 à partir du plateau accumulateur au-dessous de plateau N°3 . Après passage à travers 21 E 1 ABCD et le réfrigérant 21 E 9 AB , il est envoyé vers le bac de stockage 20T 701 à l'aide de la pompe 21 G2 AB, cependant une partie de cette coupe est renvoyée vers le plateau N°1 comme reflux, l'excédent en VGO est envoyé vers GOMI .

Spindel (SPO) :

La SPO est soutiré à partir du plateau accumulateur au-dessous du plateau N°8 et envoyée vers le stripper 21C2 ou elle est strippée à la vapeur surchauffée. La spindle sortant du stripper est envoyée vers la BAC 20 T711 à l'aide de la pompe 21G8 après passage à travers le 21 E 3 AB et le réfrigérant 21E10.

Mi-Visqueuse (MVO) SAO 10 :

La MVO est soutirée à partir du plateau accumulateur au-dessous du plateau N°16 et envoyée vers le stripper 21C3 ou elle est strippée à la vapeur surchauffée. La MVO sortante du stripper est envoyée vers le BAC 20T712 à l'aide de la pompe 21G 7 après passage à travers le 21 E5 et le réfrigérant 21.

Visqueuse(VO) SAO 30 :

La VO est soutirée à partir du plateau accumulateur au-dessous du plateau N°21 et envoyée vers le stripper 21C4 ou elle est strippée à la vapeur surchauffée. La VO sortante du stripper est envoyée vers le BAC 20 T713/714 à l'aide de la pompe 21G 6 après passage à travers le 21 E7 et le réfrigérant 21 E13. tine partie de ce distillat retourne vers la partie supérieure et ou inferieure de l'antibrouillard (demis ter) de la colonne afin d'éviter le dépôt et l'entraînement des lourds vers les autres distillats.

Residu sous-vide (RSV) « BRIGHT STOCK » BS

Après stripage a la vapeur surchauffée injectée au bas de la colonne le résidu court (RSV) étant aspire par la pompe 21G 5 AB passe à travers les 21 E8 AB,21 E6AB, 21E 2AB et le réfrigérant à eau 21 E 1 6AB, puis il est envoyée vers les bacs de stockage 20T 706/707, une partie du résidu retourne, vers le plateau N°25 pour réglage de la température de fond.

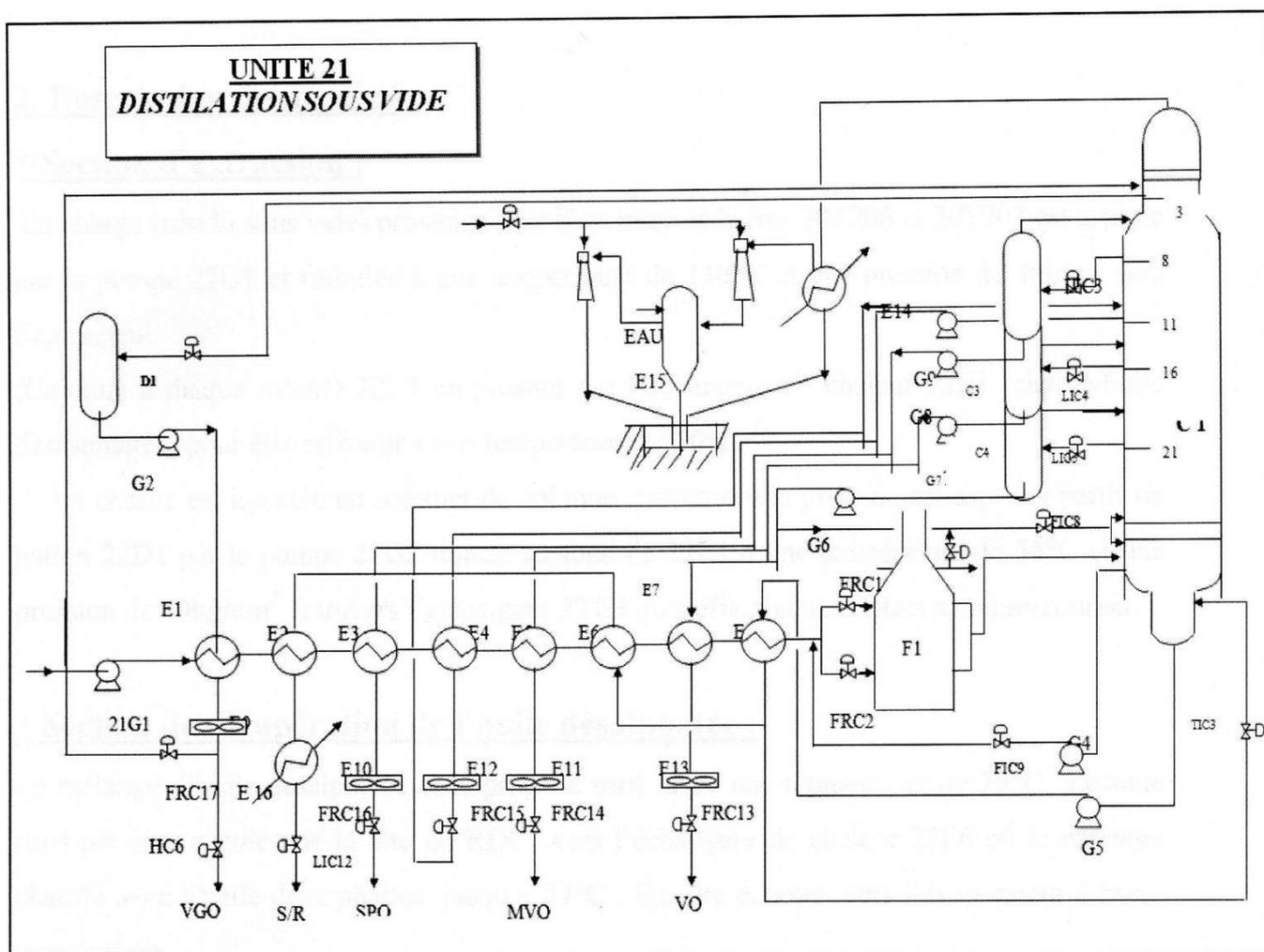


Fig. II.2. Distillation sous vide destinée à la fabrication des huiles de base

II.3 Desasphaltage ou précipitation de l'asphalte du résidu sous-vide par le propane :**II.3.1 Influence des principaux paramètres :****A - Rapport propane-charge (résidu sous-vide)**

La dilution de la matière première à séparer dépend de la composition du produit de départ et de la température. Aux conditions de 85 - 95°C (voisines de la température critique), on n'observe pas de rapport optimal entre le C₃ et la matière première à cause d'une diminution globale de la solubilité des hydrocarbures dans le propane. Dans ces conditions indiquées, plus la teneur du produit de départ en corps asphalto-résineux et en hydrocarbures à haut poids moléculaire est forte, plus est faible la quantité du solvant à utiliser pour obtenir un mélange soluble.

Le rapport indispensable entre le propane et la charge lors de la précipitation des corps asphalto-résineux dépend de la teneur en hydrocarbures désirés à récupérer du produit de départ.

La matière première à faible teneur en corps résineux et à faible teneur en paraffines huileuse nécessite un rapport plus élevé du propane (environ 8 : 1 en volume) alors que la charge à teneur prédominante en composés asphalto-résineux demande une proportion moins élevée (environ 4 : 1 en volume), cela est dû à la solubilité des hydrocarbures dans le C₃ aux températures du procédé indiquées plus haut.

Un excès d'accroissement de débit de propane par rapport à la charge augmente le rendement en huile désasphaltée, aussi sa viscosité, sa densité, son poids moléculaire ainsi que le carbone Conradson augmentent. Par contre l'indice de viscosité de l'huile diminue légèrement. Toutefois il faut tenir compte de la température des procédés de désasphaltage.

Mais au-delà d'une certaine proportion donnée, le propane dissout de plus en plus les hydrocarbures non désirables (à densité et masse moléculaire plus élevées). Le rendement en asphalte diminue, la qualité du produit désasphalté empire, et simultanément l'asphalte précipité voit son point de fusion augmenter avec la proportion propane-résidu.

B - Température du procédé

La température à laquelle est effectué le procédé du désasphaltage est aussi une condition très importante que les autres.

Les températures limites auxquelles on effectue le désasphaltage se situent entre 40 et 90°C

Le comportement du propane au-dessus de 40°C est inverse de celui des solvants usuels tel que le furfural, le phénol...etc., qui ont un pouvoir solvant pour les huiles qui croît avec la température d'opération. Avec le propane, au-dessous de 40°C, le pouvoir solvant pour l'huile diminue au fur et à mesure que la température augmente.

A une température de 90°C qui est voisine de la température critique 96,8°C, plusieurs hydrocarbures désirables ne se dissolvent pas et précipitent avec les résines. Cela tient à ce que le propane en se rapprochant de sa température critique retrouve progressivement ses propriétés gaz ; sa tension superficielle diminue ainsi que son pouvoir solvant

On observe donc qu'au fur et à mesure qu'on élève la température, la proportion d'asphalte précipitée augmente et celle de l'huile désasphaltée diminue.

L'asphalte est de plus en plus mou car il est de plus en plus dilué par les fractions d'huiles qui se montrent insolubles dans le propane à la température de l'opération.

Le désasphaltage a lieu dans des colonnes à contre-courant où on maintient la température du fond égale à 50 - 65°C pour l'extraction maximale des hydrocarbures à partir des produits de départ.

La température au sommet est égale à 75-85°C pour obtenir un produit désasphalté pauvre en corps résineux.

Donc, la température au sommet détermine la qualité du produit et la température du fond, le rendement en produit.

Les températures optimales sont de 50 et 85°C.

La pression est de 35 à 45 atm en fonction de la température du processus.

Les courbes suivantes Fig. 8 et 9 montrent la relation entre la proportion propane-résidu, le rendement en huile et le point de fusion de l'asphalte précipité. On voit qu'à une température quelconque d'opération, le rendement en huile augmente bien avec la dilution et qu'il en est de même du point de fusion. (ou point de ramollissement R.B) de l'asphalte.

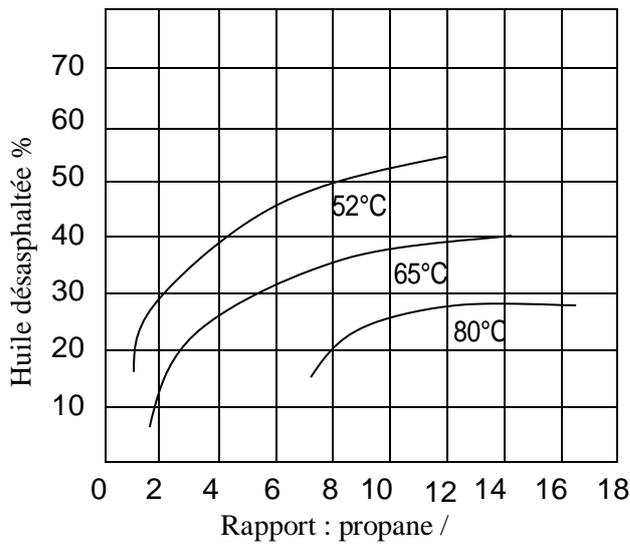
Nous voyons donc que si nous voulons obtenir le meilleur rendement possible en huile désasphaltée, il nous faut employer une grande proportion de propane par rapport à la matière première et que nous ne devons pas opérer à haute température.

C – Pression

Les variations de pression ont un effet relativement minimum et ne sont en général jamais modifiées. Néanmoins une augmentation de la pression accroît la solubilité de l'huile dans le propane et fait élever légèrement le rendement en huile.

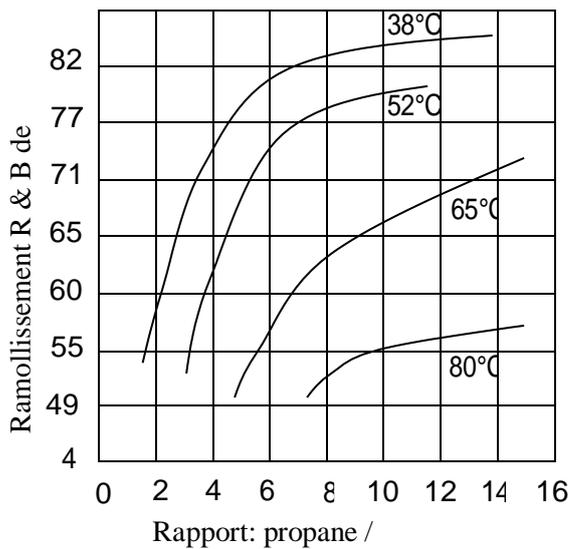
Généralement, le désasphaltage s'effectue à une pression un peu supérieure à la pression des vapeurs du propane liquéfié, ceci pour avoir une marge de sécurité au-dessus de la pression de vapeur du propane à la température de tête de tour.

La pression est de 35 à 45 atm en fonction de la température du processus.



D'après le graphe on voit que le % d'huile désasphaltée obtenue est d'autant plus faible que la température de mélange est plus haute

Fig.II.3rendement en huile



D'après le graphe le point de ramollissement R & B de l'asphalte précipité est d'autant plus bas que la température du mélange est plus élevée.

Source : X.Normand, Leçons sommaires

Fig II.4 Point de ramollissement de l'asphalte

Remarque : Les fractions larges sont plus difficiles à désasphalter que les fractions étroites, car les hydrocarbures à faible masse moléculaire agissent comme solvant intermédiaire (avec le propane) et élèvent la solubilité des hydrocarbures à grande masse moléculaire et des résines.

Etant donné que les résines et les hydrocarbures polycycliques ont un pouvoir cokéfiant élevé, on détermine le degré de désasphaltage par le pouvoir cokéfiant des huiles.

II.3.2 Description du schéma de principe du désasphaltage au propane (fig.II.5)

La charge (résidu sous vide) provenant des bacs intermédiaires 20T706 et 20T707 est aspirée par la pompe 22G1 et refoulée a un température de **110°C** et une pression de **40bars** vers l'extracteur (colonne a disque rotatif) 22C1 en passant par l'échangeur 22E1 (charge / huile désasphaltée) pour être refroidit a une température de **70°C**.

La charge est injectée au sommet de colonne ,par contre le propane est aspirée à partir de ballon 22D1 par la pompe 22G2 injectée au fond de 22C1 à une température de **56°C** et une pression de **40kg/cm²** à travers l'échangeur 22E3 ou s'effectue un contact à contre-courant.

Dispositif d'extraction de l'huile désasphaltée récupération du solvant dans la phase huile :

Le mélange liquide d'huile désasphaltée et de propane s'écoule sous pression réglée depuis le sommet de la colonne, passe à travers l'évaporateur à basse température E-4 via échangeur huile désasphaltée / mélange d'huiles désasphaltées E-6 où la plupart du propane liquide contenu dans le mélange est vaporisé. Le mélange liquide d'huile désasphaltée et de propane s'achemine ensuite sous contrôle de niveau vers l'évaporateur haute température E-5 dans lequel on évaporisé la plus grande quantité possible du propane restant dans le mélange. Le propane vaporisé dans les évaporateurs est envoyé dans le condenseur de propane E-2 pour se diriger ensuite vers le réservoir de réception de propane

Le mélange d'huile désasphaltée provenant de l'évaporateur haute température E-5 est envoyé dans le stripper C-2 ou les dernières traces de propane sont éliminées de l'huile par strippage à la vapeur surchauffée. L'huile provenant du fond du stripper C-2 est pompée à travers l'échangeur E-6 pour être amenée à la température appropriée avant d'être acheminée vers les réservoirs de stockage.

Dispositif d'extraction de l'asphalte et récupération du solvant dans la phase asphalte

Le mélange d'asphalte provenant du bas de colonne C-1 passe à travers le réchauffeur d'asphalte F-1 où la plus grande partie du propane est vaporisée, se dirige vers la colonne de flash d'asphalte C-3 où se produit la séparation de la vapeur de propane. Le mélange d'asphalte liquide se dirige ensuite vers le stripper d'asphalte C-4 ou les dernières traces de propane sont éliminées de l'asphalte par strippage à la vapeur surchauffée. Le mélange des vapeurs de propane est à son tour envoyé vers le condenseur E-2 pour se diriger vers le réservoir de récupération de propane D-1.

L'asphalte provenant du fond du stripper est pompé par la pompe d'asphalte est envoyé vers le réservoir de stockage.

Récupération du propane

Il a été dit plus haut que toutes les vapeurs de propane provenant des évaporateurs basse et haute température E-4, E-5 et de la colonne de flash passent toutes à travers le condenseur de propane E-2 où le propane condensé s'écoule dans l'accumulateur D-1.

Le mélange de vapeurs de propane et de vapeur d'eau provenant du strippage d'huile désasphaltée C-2 et du stripper d'asphalte C-4, se rejoignent et passent à travers le séparateur de vapeur C-5 où la vapeur se condense avant d'être injectée à l'égout.

Les vapeurs de propane non condensées du C-5 passent à travers le tambour d'aspiration du compresseur D-2, puis par le compresseur G-7. Le propane comprimé passe à travers le tambour de refoulement du compresseur D-3 et à travers le condenseur de propane E-2 pour être recueilli dans l'accumulateur D-1, en même temps que le propane haute pression provenant des évaporateurs et de la colonne de flash de l'asphalte.

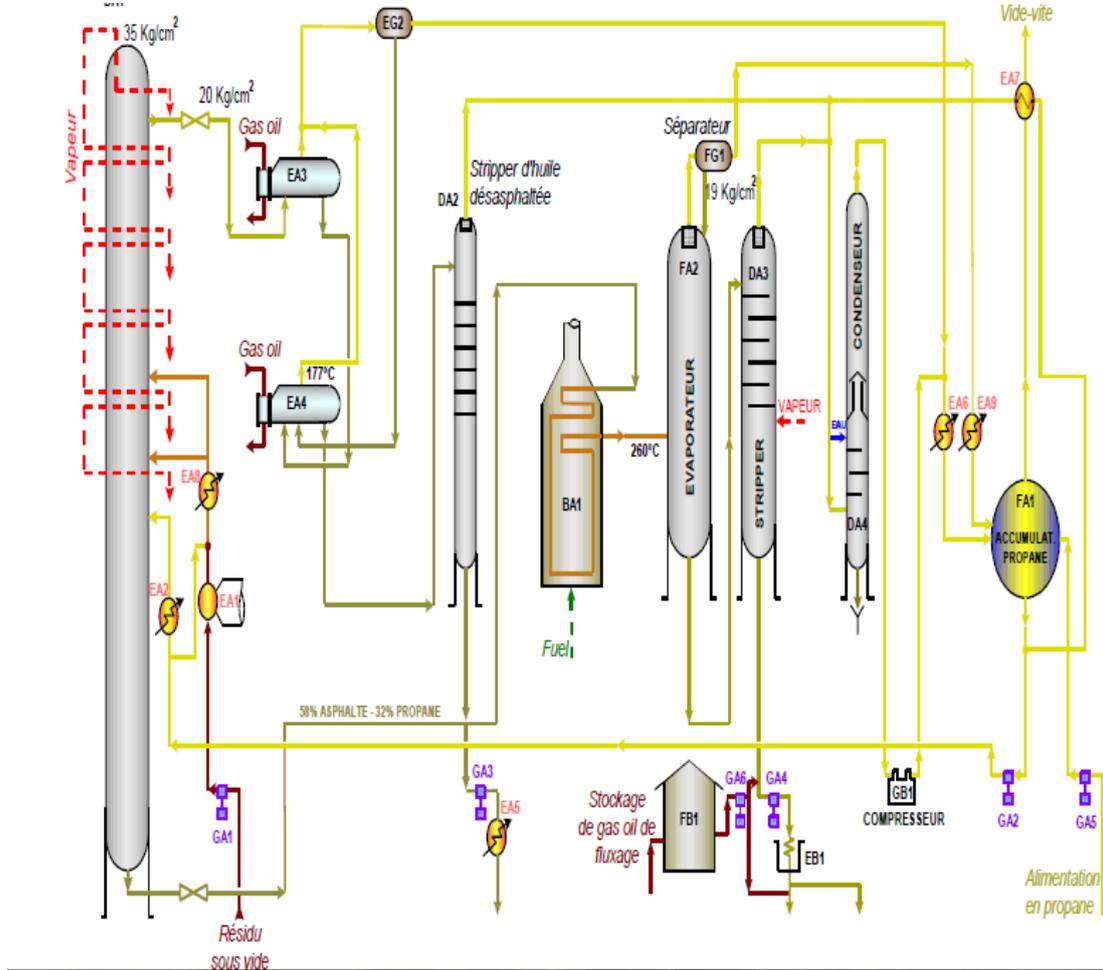


Fig.II.5 Schéma d'une installation de désasphaltage au propane

II.4 Extraction des aromatiques aux solvants sélectifs

II.4.1 Principes de l'extraction aux solvants sélectifs

Le but du traitement des fractions pétrolières aux solvants sélectifs consiste à choisir un tel solvant qui posséderait un pouvoir solvant différent par rapport aux constituants désirables et indésirables du produit à raffiner.

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques et naphténo-aromatiques à courtes chaînes latérales, les hydrocarbures non saturés, les composés azotés et sulfurés, ainsi que les corps résineux sont classés parmi les constituants indésirables des huiles.

La température et le rapport du solvant sont les paramètres principaux qui influent sur le degré du raffinage.

Le choix de la température du raffinage dépend de la température critique de dissolution du mélange.

Le raffinage au solvant sélectif est possible dans les limites de température entre lesquelles existe le système de deux phases.

Les courbes de la fig. II.6 suivante montrent que quand la température de raffinage augmente, le rendement en produit raffiné diminue, son indice de viscosité croît au début, puis baisse.

Cette valeur maximale de l'indice de viscosité indique la température de raffinage optimale au-delà de laquelle, par suite de l'accroissement de l'action des forces de dispersion, les propriétés dissolvantes du solvant augmentent et sa sélectivité baisse brusquement par rapport aux constituants indésirables du produit à raffiner (fig.II.5).

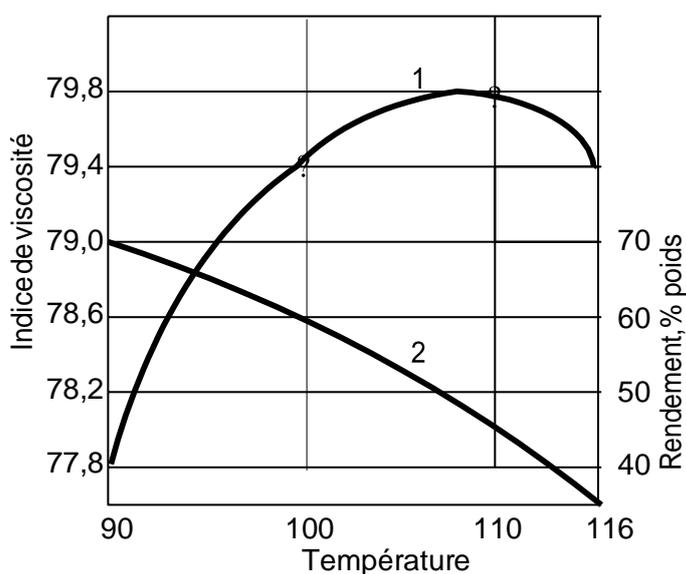


Fig. II.6 - Relation entre le VI, le rendement en fonction de la température du traitement
 1 - Indice de viscosité
 2 - Rendement en huile épurée

Le taux d'extraction des constituants indésirables dépend aussi de la quantité du solvant indispensable pour l'extraction. La quantité, à son tour, dépend des propriétés du solvant de la

composition chimique du produit de départ, du taux de raffinage désiré, de la température et, enfin, des procédés d'extraction. Ainsi, l'augmentation de la quantité de solvant par suite de l'action des forces de dispersion conduit à l'abaissement du rendement en produit raffiné et à l'amélioration de sa qualité tableau I.3

Tableau II.1 : Effet de la proportion du solvant sur rendement et qualité du raffinat Furfural à 93°C ; Phénol à 63°C

Produits	Rendement en Produit(raffiné) %vol	Indice de viscosité	Carbon Conradson
Echantillon de l'huile	100	65	2,9
Solvant % vol			
Furfural (à 93°C)			
300	75,2	84,7	1,1
600	62,6	88,6	0,9
1200	47,1	93,2	0,7
Phénol à (65°C)			
300	66,3	87,5	1,0
600	50,0	92,8	0,8
1200	34,0	97,5	0,6

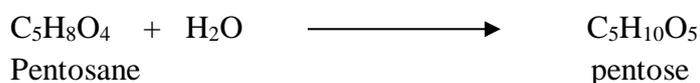
D'après ce tableau on voit qu'avec l'augmentation de la quantité de solvant, le rendement du raffinat et l'indice Conradson diminuent brusquement. Toutefois, l'indice de viscosité de l'huile s'accroît

II.4.2 Caractéristiques principales des solvants utilisés :

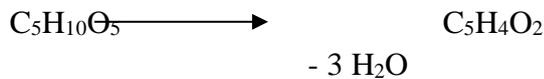
a)- Le furfural : (densité à 20°C = 1,159 ; température d'ébullition normale = 162°C) est un aldéhyde cyclique appartenant au groupe du furane C₄H₄O (composé hétérocyclique existant dans le goudron du sapin). On l'appelle encore furfurol, mot qui vient de l'expression latine «furfur oléum » qui veut dire l'huile de son. (Son : fragments développés de grains de céréales).

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 pailleetc.

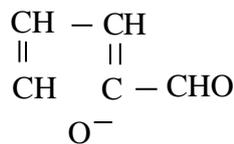
L'hydrolyse des pentosanes donne des pentoses



qu'on les fait bouillir dans des acides pour avoir le furfural.



La formule développée du furfural est la suivante :



Le furfural possède une très grande sélectivité c.à.d. qu'il dissout parfaitement les aromatiques, bien les naphthéniques et peu les paraffiniques. Son pouvoir solvant conduit à des températures d'extraction de l'ordre de 65°C à 150°C. Le taux de solvant varie entre 50% et 350%. Le furfural est un composé toxique. Il provoque une action irritante lors d'une affection locale.

b)- Le phénol : (densité à 25°C = 1,071, t° d'ébullition normale = 182°C) est utilisé pour le traitement des huiles de haute viscosité et très paraffiniques à des taux de solvant de 100% à 250%, t° d'extra = 90°C).

L'avantage du phénol en comparaison au furfural consiste en ce qu'il possède, aux volumes égaux de solvants, un pouvoir solvant plus élevé vis à vis des hydrocarbures aromatiques polycycliques et des résines. La quantité de phénol par rapport au produit à raffiner est généralement peu faible que celle du furfural. Cependant le taux d'extraction des constituants désirés au phénol est plus grand, grâce à son pouvoir solvant élevé.

Mais le furfural extrait plus sélectivement les constituants indésirables.

Les résultats obtenus à l'aide du furfural ou de phénol sont assez voisins, mais la raison qui a guidé certains raffineurs vers le furfural est que ce produit n'a guère d'usages que le traitement des huiles tandis que le phénol est un produit chimique déjà employé dans un bon nombre de synthèses.

c)- Le dichlorodiéthyl-éther : (d₂₀ = 1,213, t° ébullition = 178°C) possède un grand pouvoir solvant qui permet des températures d'extraction à 40°C, ce qui nécessite le déparaffinage avant l'extraction.

d)- Le nitrobenzène : d_{25°C} = 1,173 t° ébullition = 211°C est un solvant à la fois très sélectif et de très grand pouvoir solvant, mais il est très toxique.

II.4.3 Description

Section de désaération :

Un des aérateurs est prévu pour éliminer l'air dissout dans la charge, cet air pourrait détériorer la propriété du furfural. La désaération est effectuée par stripage sous vide a la vapeur, le est créé par un système d'éjecteur 23K1 et un condenseur barométrique 23 D6.

La charge d'huile est pompée à partir des bacs de stockage de distillat sous vide ou de DAO, vers l'unité par la pompe 23G1, chargée dans le désaérateur 23C2 travers huile/furfural 23E1 dans lequel la charge est chauffée jusqu'à la température de désaération désirée.

Section d'extraction :

L'extraction liquide-liquide est un précède ou la séparation des composants d'un mélange est effectuée par traitement au solvant. Les composants devant être séparés sont immiscibles ou partiellement miscibles dans le solvant et les deux phases distinctes sont formées dans les conditions opératoires utilisées. En raison de sa haute température de miscibilité avec les fractions d'huile lubrifiante brute, le furfural convient parfaitement à l'extraction aux températures ordinaires de fonctionnement. Le furfural est aussi un solvant hautement sélectif pour les aromatiques, les résines et les composés indésirables qui ne conviennent pas pour l'huile lubrifiante raffinée.

L'huile du fond de désaérateur est chargée au milieu du 23C1 (RDC) par la pompe de charge 23G2 à travers refroidisseur 23E2.

Le furfural dans le fractionnateur 23C9 est injecté en tête du 23C1 par la pompe 23G3 à travers l'échangeur 23E1 et le refroidisseur à air 23E3. On obtient aussi deux phases séparées par une interface en tête de 23C1. La phase riche en furfural (extrait) contenant la plus grande proportion de solvant avec les composés aromatiques et les matières indésirables s'écoule de haut en bas. La phase riche en huile (raffinat) qui monte en tête du RDC (en raison de sa faible densité par rapport à l'extrait). Elle contient les composés désirables à haut indice de viscosité.

Section de récupération de raffinat :

Le furfural vapeur récupère des têtes des colonnes de flash 23C3, C7 est condensé par le 23E14 (AERO) et se dirige vers le ballon 23D1. Le furfural condensé est aspiré par la pompe 23G9, une partie est renvoyée comme reflux vers les colonnes de flash 23C3 — 23C7-23C5. L'autre partie est envoyée vers le fractionnateur 23C9. Le furfural vapeur récupère en tête des strippers 23C4, 23C8 est condensé dans le 23E11 (aero) et se dirige vers le ballon 23D4 d'où il est transféré par gravité vers le ballon 23D2. Le furfural vapeur récupéré en tête des colonnes de flash haute et basse pression est condensé dans les échangeurs 23E7 (HP), 23E6, 23E13 (BP) et se dirige vers la 23C9. Le furfural récupéré dans le ballon 23D2 est divisé en deux phases séparées. La phase la plus lourde (riche en furfural) est aspirée par la pompe 23G10 est envoyée vers la 23C9, l'autre partie riche en eau (mélange azeotropique) est envoyée en tête de colonne 23C10, C4, C8 comme reflux.

Section de récupération de l'extrait :

Le mélange d'extrait récupéré au fond du RDC est chauffé dans les échangeurs 23E8, 23E6 et 23E7. Le mélange d'extrait partiellement vaporisé subit un flash dans la colonne 23C5, un reflux de furfural froid est assuré en tête afin d'éviter les entrainements d'huile. Le liquide provenant du fond 23C5 est aspiré par la pompe 23G6 et envoyé vers la colonne de flash d'extrait à haute pression travers le four 23F2. Une partie de la colonne de flash à haute pression est envoyée à la section d'extraction par la pompe 23G8 pour améliorer le rendement.

en raffinat, le reste est envoyée vers la colonne de flash d'extrait 23C7 ou la plus grande partie du furfural restant dans l'extrait est vaporise sous vide ;

Le liquide du fond de 23C7 s'écoule par gravite dans le stripper d'extrait 23C8, le solvant restant dans l'extrait est éliminé par stripage la vapeur surchauffée, l'extrait est aspire pompe 23G7 passe à travers le refroidisseur à eau 23E10 et dirige vers fuels. par la

Section de récupération du furfural :

Les vapeurs de furfural secs récupérées des têtes des colonnes de flash 23C3 et 23C7 sont condensées par l'aero réfrigérant 23E14 et dirigées vers le ballon d'accumulateur de furfural 23D1. Le furfural condense est aspire par la pompe 23G9 ; une partie est envoyé comme reflux vers les colonnes de flash 23C3, 23C7 et 23C5 ; tandis que l'autre partie est envoyé dans le fractionnateur 23 C9. Les vapeurs de furfural humides récupérées en tête des strippers 23C4 et 23C8 sont condensées dans l'aero 23E11 et dirigées vers le ballon 23D4 ou il descend par gravite dans le ballon 23D2. Les vapeurs de furfural secs récupérées en tête des colonnes de flash haute et basse pression (23C6 et 23C5) sont condensées dans les échangeurs 23E 7 (pour 23C6) et 23E6 (pour 23C5) puis vers 23E13 et dirigées vers le fractionneur 23C9. Le furfural récupéré dans le ballon 23D2 est divisé en deux phases séparées ; la phase la plus lourde (riche en furfural) est aspire par la pompe 23G10 est envoyé vers le fractionneur 23C9 ; l'autre partie riche en eau (mélange azeotropique) est envoyé en tête des colonnes 23C10, 23C4 et 23C8 comme reflux. Les vapeurs des têtes des colonnes 23C9 et 23C10 sont condensées dans l' aéroréfrigérant

23 E12, et envoyées vers 23D2. Le System E12 vide est assure par l'éjecteur 23K1 et le ballon barométrique 23D6.

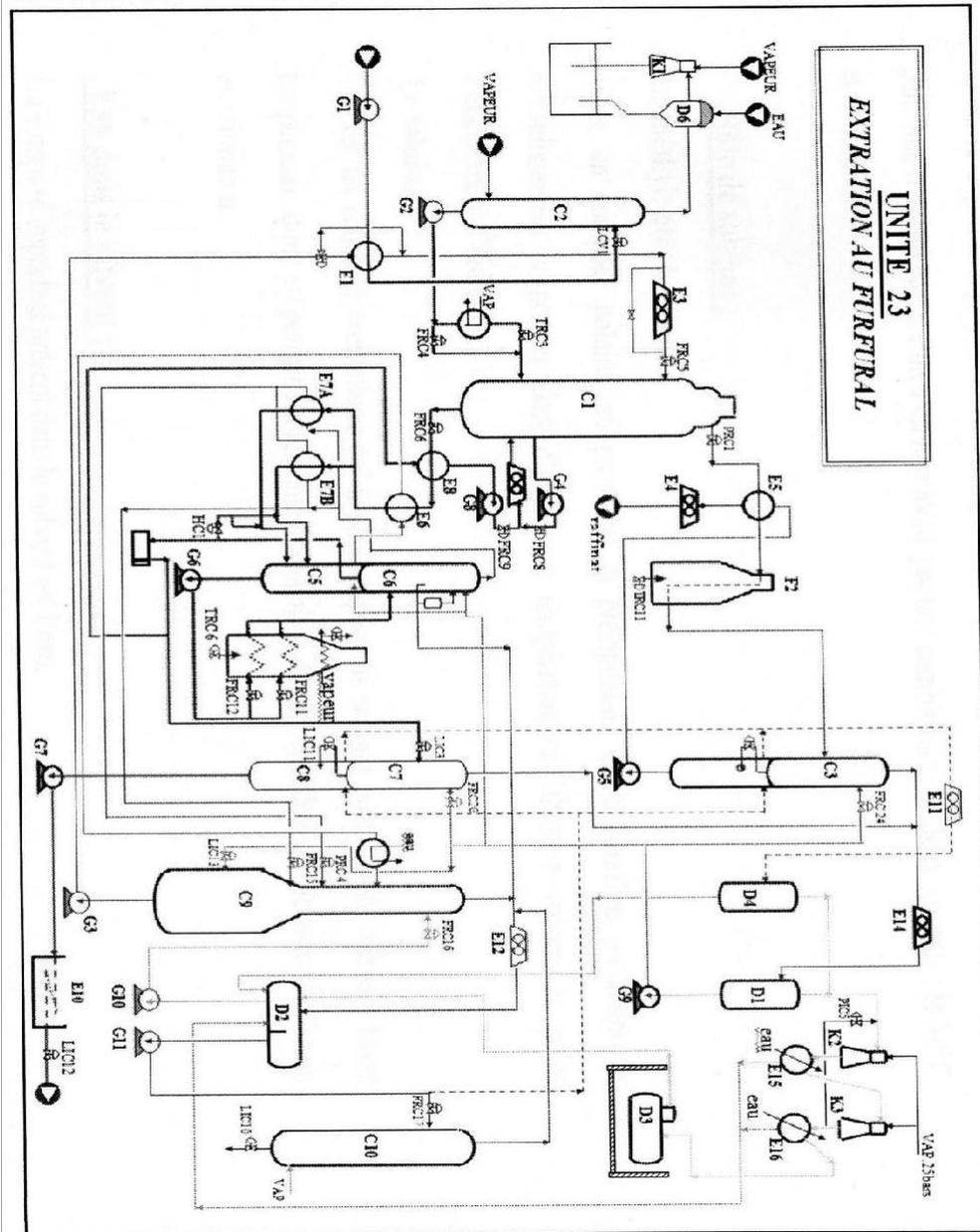


Fig.II.7 Schéma d'une installation de l'extraction des aromatiques

II.5 Déparaffinage des huiles aux basses températures

II.5.1 Processus du déparaffinage fig. I.8

Généralement le processus du déparaffinage est composé de trois grandes étapes :

- étape du déparaffinage proprement dit qui est constituée de trois stades : dilution, réfrigération, filtration ;
- étape de recristallisation du mélange gatsch ou petrolatum qui elle aussi est composée des trois stades cités plus haut ;
- étape de déshuilage de la paraffine obtenue.

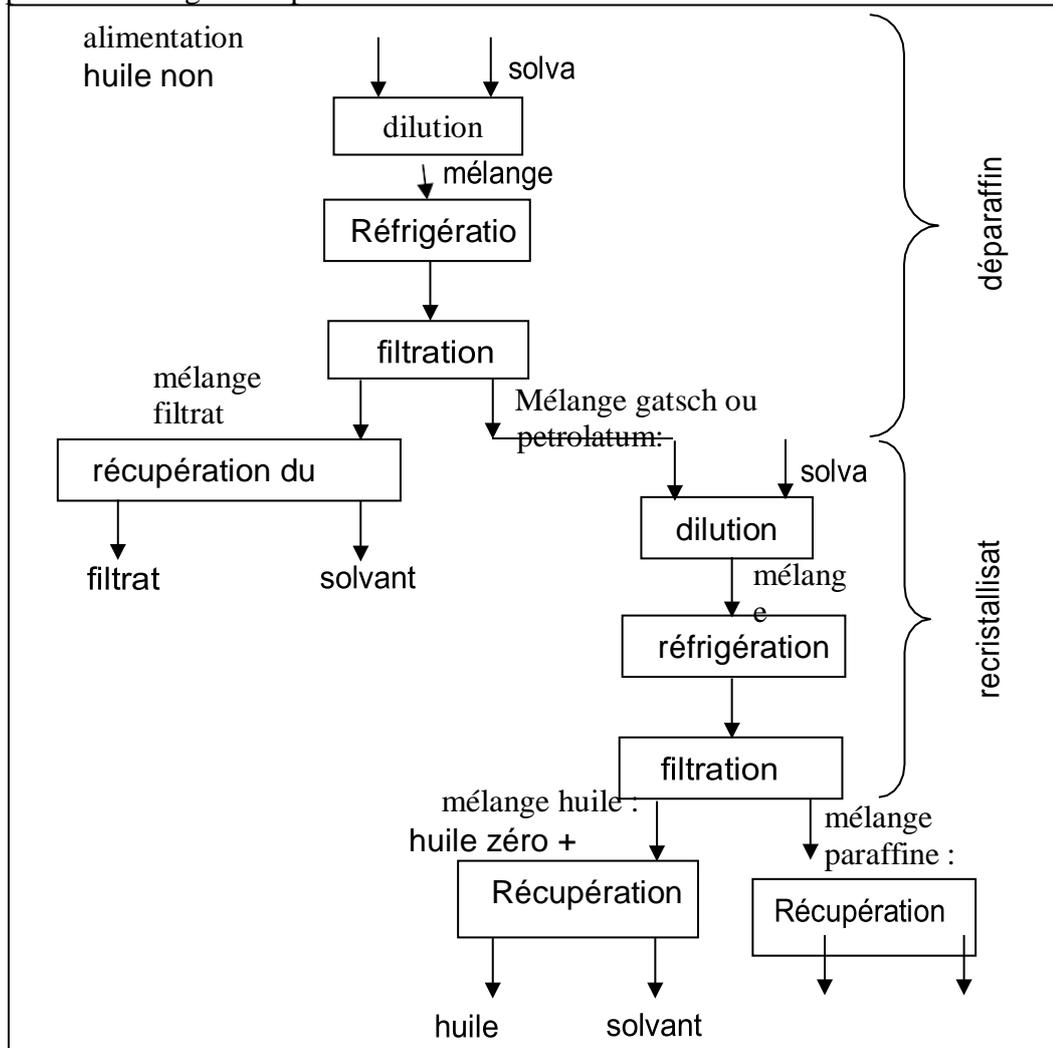


Fig II.8- étapes du processus du déparaffinage

4.2- Conditions d'emploi des solvants pour le déparaffinage :

Examinons maintenant les conditions d'emploi de notre bi solvant de manière à obtenir le point d'écoulement fixé à l'avance pour nos filtrats avec le meilleur rendement et le moins de frais possible.

Pour arriver à ce but nous devons agir sur les facteurs suivants :

- 1 – Les proportions des deux solvants dans notre bi solvant.
- 2 – La dilution totale (proportions de bi solvant par rapport à l'huile à déparaffiner).

- 3 – La façon d’effectuer cette dilution (méthode de dilution).
- 4 – Le refroidissement du mélange d’alimentation.
- 5 – Le lavage du gâteau de mélange de gastch.
- 6 – Le réglage des filtres.

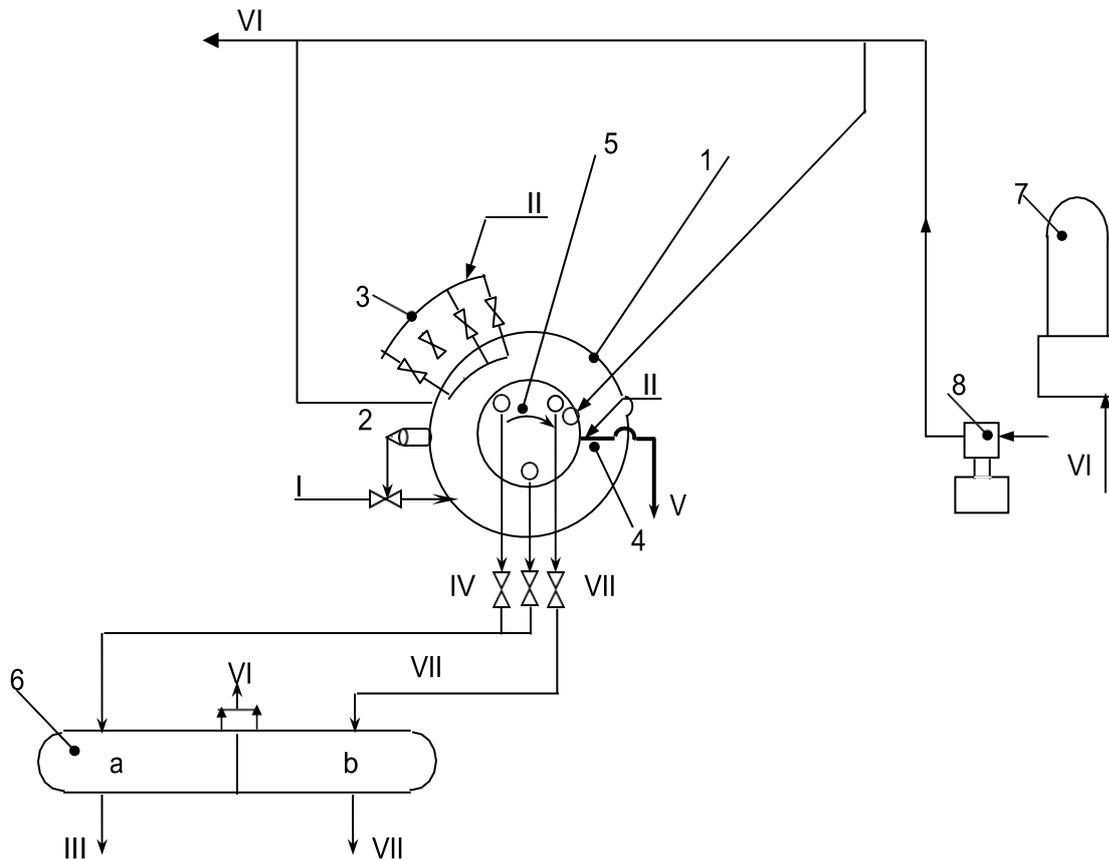


Fig II.9 Schéma d'un filtre rotatif sous vide continu

II.5.2 Le filtre : (voir fig.II.10)

a) Description d'un filtre

Pour la séparation des cristaux de paraffine de la solution, on utilise des filtres à vide et des filtres fonctionnant sous pression. Nous procédons à la description d'un filtre à vide qui est le plus répandu.

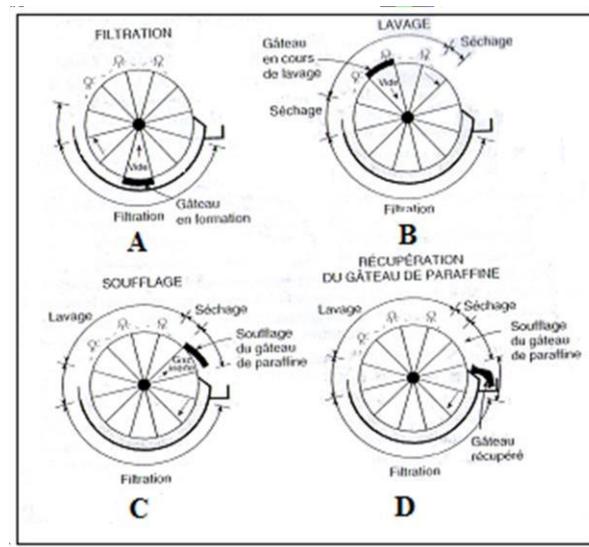
b) Appareillage : 1- tambour ; 2- régulateur de niveau dans le corps du filtre ; 3- réservoir contenant la solution de lavage ; 4- vis d'évacuation du gâteau ; 5- tête distributrice ; 6- ballon de réception : a) section du filtrat du mélange d'huile déparaffinée ; b) section du solvant de lavage ; 7- réservoir pour le gaz inerte ; 8- compresseur ;

Conduits : I- alimentation provenant des cristallisoirs ; II- solvant ; III- mélange filtrat (mélange d'huile déparaffinée et le solvant obtenu à la sortie du filtre ; IV- solvant de lavage refroidi ; V- mélange de paraffine huileuse et de solvant ; VI- gaz inerte ; VII- solvant de lavage chaud.

c) Principe de travail du filtre :

L'alimentation est admise à partir d'un ballon sous pression par le fond de la cuve du filtre par gravité. Le niveau de liquide est maintenu de telle façon que seulement une partie de la surface (environ 40 à 50%) du tambour est immergée. Il faut mentionner que le travail du filtre passe par des phases au cours d'une rotation de 360 degrés.

Ces phases sont : phase de filtration, phase de lavage, phase de soufflage et enfin phase de récupération du gâteau. La fig.I.10 représente les quatre phases citées



FigII.10 Schéma de fonctionnement d'un filtre rotatif

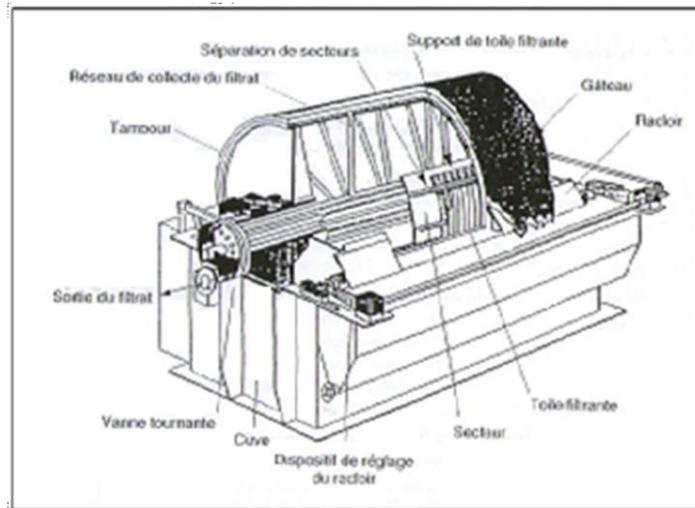
Lors du fonctionnement, le tambour du filtre recouvert d'une toile filtrante est mis en rotation, permanente autour d'un axe horizontal à une vitesse de 0.1 à 1 tour par minute. Par conséquent toute sa surface filtrante est successivement plongée dans la solution de produit de départ. La partie de tambour plongée dans la solution fonctionne comme filtre, c'est à dire sous l'effet du vide créé dans les panneaux du tambour.

Ces derniers sont reliés par des conduits de collecte aspirent la solution de produit (le filtrat) à la toile de filtration et débouchent sur un ballon de recette de filtrat qui est maintenu sous vide (0.250 bar absolu environ), alors que le gâteau se dépose sur la toile

Ceci continue tant que les panneaux sont dans le liquide et le gâteau atteint une certaine épaisseur. Lorsque les panneaux sortent de la solution, ils sont reliés à une deuxième aspiration sous vide lors d'une rotation ultérieure, d'où une série de rampes les arrosent avec du solvant, c'est le lavage. Une fois le gâteau est lavé, il est soumis à une séparation par soufflage à l'aide d'un gaz arrivé par pression. C'est le soufflage qui décolle le gâteau.

Celui-ci est enfin enlevé par un couteau et tombe dans une vis sans fin (sans cesse, continuellement) qui l'évacue vers un collecteur de gatsch ou de pétrolatum, et le cycle recommence.

Il faut noter que le gâteau est constitué par accumulation des cristaux de paraffine qui retiennent dans leurs pores de l'huile et par conséquent il se lave mal. Un gâteau ayant une épaisseur de 5 à 6 mm est pratiquement acceptable. La fig.II.11 montre un schéma fonctionnel d'un filtre rotatif



FigII.11 Schéma fonctionnel d'un filtre rotatif

(Source: Padovail,)

II.5.3 Description d'unité de déparaffinage par solvants MEC –TOLUENE

(voir fig.II.12)

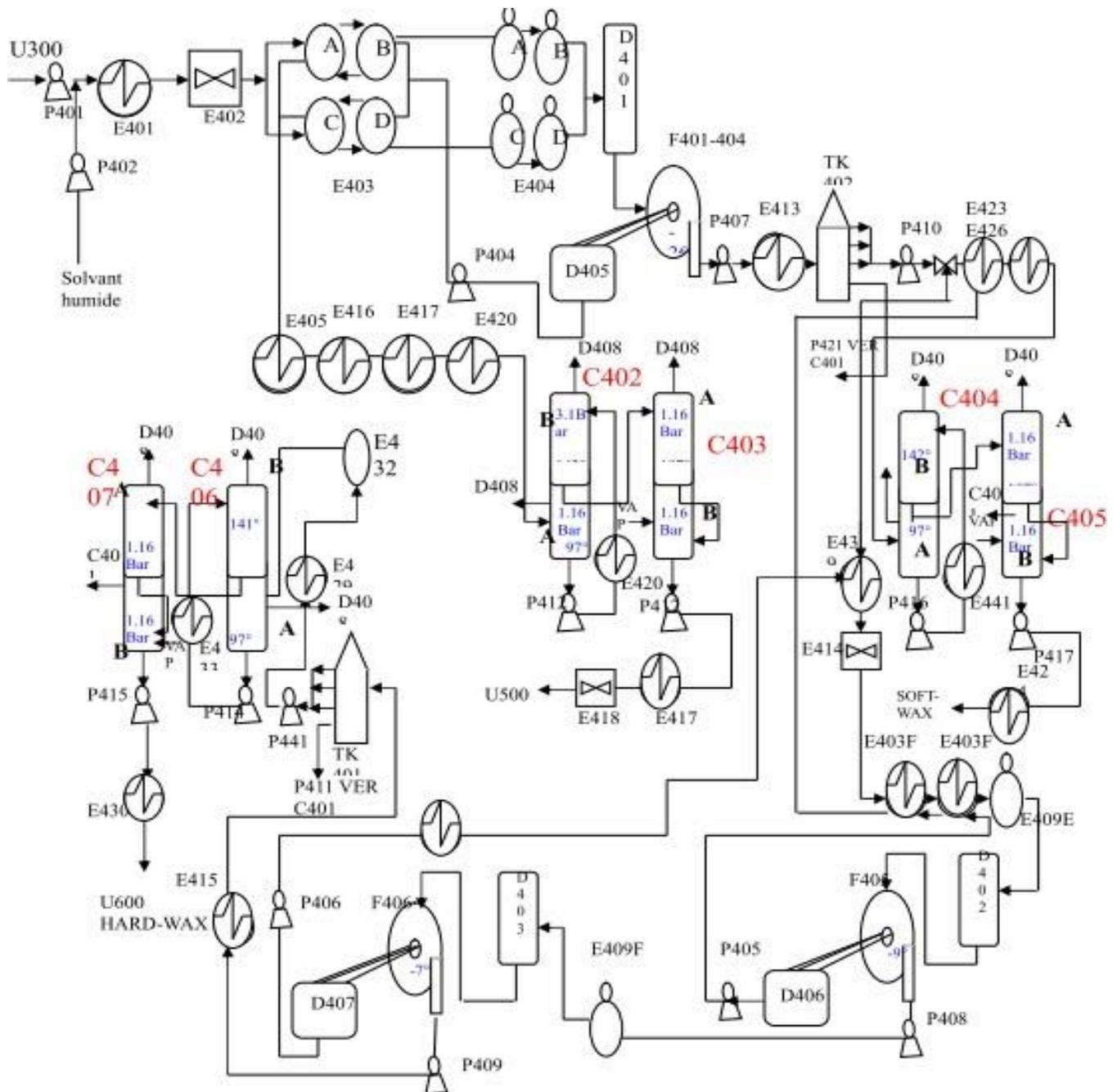


Figure II.12 : Schéma principale de l'unité 400

- L'huile à déparaffiner (alimentation).
- Solvant.
- Mélange (solution du mélange de la charge).
- HC solides dans la solution d'huile (suspension).

- Solution de l'huile déparaffinée (filtrat).
- Mélange gatsch ou pétrolatum.
- Huile déparaffinée
- Hydrocarbures solides (gatsch ou pétrolatum)

II.5.4 Description du procédé

il comprend les sections suivantes :

- Section de réfrigération au propane.
- Section de filtration.
- Sections des récupérations.
- Section de gaz inerte.
- Section déshuilage

Le procédé s'effectue de la manière suivante

1- Melanger a la charge une quantité de solvant compose de mélange d'un solvant et d'un :

a- Toluène : solvant qui la propriété de dissoudre l'huile.

b- MEC (méthyle, éthyle, atone) :Anti-solvant qui a la propriété de favoriser la cristallisation des paraffines. Le mélange solvant/charge se fait en ligne, les proportions de solvant MEC/Toluène est de l'ordre 50/50.

2- Refroidir progressivement le mélange charge/solvant jusqu'a la température de -26°C , d'où la nécessité de la section de réfrigération au propane (propane utilise comme réfrigérant).

3- Filtration : précède de séparation entre les paraffines cristallisées et l'huile déparaffinée. L'opération de séparation se passe dans les filtres rotatifs sous vide : le vide est crée par le compresseur de gaz inerte d'où la nécessité une section de gaz inerte

4- les récupérations du solvant a partir de l'huile déparaffinée et des paraffines obtenues par filtration. C'est une opération réalisée grâce a un mélange de solvants qui a pour but de solubiliser l'huile de base en facilitant la cristallisation à froid des paraffines. Ces hydrocarbures se cristallisent a la température ambiante et empêchent donc l'huile de circuler librement et de lubrifier parfaitement les mécanismes. Les cristaux de paraffines sont retenus dans un filtre rotatif ou il en résultat une huile pauvre en paraffine a has point d'écoulement recherché, et une paraffine riche en huile qui une fois déshuilée sera un sous-produit.

Le schéma présenté par la figure (figure ci-apres, explique et montre les équipements principaux constituant l'opération de déparaffinage).

II.6 Traitement de finition

II.6.1 Généralités

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

Le but de cette opération consiste à clarifier et à stabiliser ces huiles en éliminant les composés indésirables cités ci-dessus en vue d'obtenir des produits répondant aux exigences commerciales du marché par les caractéristiques imposées (spécifications).

Ce traitement peut être réalisé par des terres activées appelées terres décolorantes de type silicate d'alumine ou catalytiquement en présence d'hydrogène sur catalyseur.

a)- Raffinage des huiles par la terre activée

Généralement dans les raffineries, dans le domaine de la terre activée, on applique deux méthodes :

Raffinage par contact à la terre activée finement broyée (raffinage par contact avec les adsorbants) ;

Filtration à travers une couche de terre activée en granules (méthode de filtration ou de percolation). On appelle percolation lorsque le mélange est liquide.

b)- Hydroraffinage ou traitement catalytique a l'hydrogène « ferrofining »

Le raffinage par hydrogénation ou hydroraffinage est appliqué généralement pour tous les produits clairs issus de la distillation directe, les produits provenant des procédés de craquage catalytique, de cokéfaction ainsi que les huiles préalablement traitées aux solvants sélectifs.

C'est le processus le plus rentable et le plus efficace d'élimination du soufre, de l'azote et de l'oxygène, par rapport aux traitements à l'acide sulfurique et à la terre décolorante qui a-t-on remarqué laissant des sous-produits encombrant et difficiles à faire disparaître, en particulier les goudrons acides (acide tar) .

Vu ces grands avantages, l'hydroraffinage substitue de plus en plus le raffinage final à la terre décolorante, et les traitements à l'acide sulfurique qu'on applique encore aux distillats déparaffinés pour en faire des huiles industrielles. En fin il faut noter que ce procédé est utilisé également aux huiles non traitées par solvant.

Ce procédé appelé «ferrofining » met en œuvre un catalyseur d'hydrogénation dans lequel le fer est associé comme promoteur au mélange catalyseur classique Co-Mo fig. II.13.

Le ferrofining consiste à faire ruisseler l'huile lubrifiante dans une atmosphère d'hydrogène à travers un lit fixe de catalyseur ternaire (composé de 3 éléments) dans des conditions modérées, de pression et de température.

La pression nécessaire est inférieure à celle des gaz hydrogénés sortant du reforming catalytique. Il consomme très peu d'hydrogène 7 m³ par tonne d 'huile lubrifiante, et par conséquent, il n'est pas nécessaire d'envisager le recyclage des gaz hydrogénés.

II.6.2 Description du procédé

l'unité d'hydrofinishing est composée des sections suivantes

- 1- Section catalytique du stock d'alimentation par H₂
- 2- Le Stripage et le séchage des huiles hydro traités

Section réaction :

Le gaz riche end hydrogène utilisé dans cette partie est produit dans l'unité platforming en z4

la pression d'utilisation est assurée par un compresseur 25 G3

l'alimentation de l'unité en huile déparaffinée est assurée par la pompe 25G1 l'huile préchauffée dans un échangeur 25 E1 et mélangée au gaz riche en H₂ passe à travers un échangeur 25 E2 et réchauffeur 25F1 pour avoir une température de 280° C avant d'être chargée au réacteur 25C1.

Le mélange passe uniformément a travers le plateau de répartition et à travers le lit fixe du catalyseur ou la réaction d'hydrotraitement se produit. L'huile sortante de réacteur est dirigée vers un ballon séparateur a HP 25D1 ou le gaz H₂ détendu est séparé du liquide L'huile provenant du 25D1 est refroidie à 175°C en passant à travers l'échangeur 25 E2 puis se dirige vers le séparateur a BP 25 D2. Les gaz de tête sont refroidis a 37.8°C a travers le réfrigérant 25 E3 et dirigés au tambour de séparation 25D3 ou ils sont envoyés vers torche. Le liquide entraine est drainé comme rejet de fabrication.

Section de stripage et séchage des huiles hydro traitées :

L'huile provenant du séparateur a basse pression est débarrassée de ses produits légers dans le stripper 25 C2 fonctionnant à 100mmHg absolu. Au fond de cette colonne on injecte de la vapeur surchauffée pour rouler le point d'éclair (flash point) L'huile provenant du fond du stripper est introduite dans la colonne de flash 25C3 fonctionnant a 20 mm Hg ou sont éliminées toutes les traces d'eau. Le système sous vide est équipé de deux éjecteurs avec des condenseurs a surface. Les gaz non condensables sont envoyés a l'atmosphère tandis que les condensateurs sont envoyés aux rejets de fabrication. Le fond de la colonne de flash est refroidi a travers un échangeur 25 E1 et un refroidisseur E4 a eau passe a travers un ti lire avant d'être stocke comme. huile de base finie.

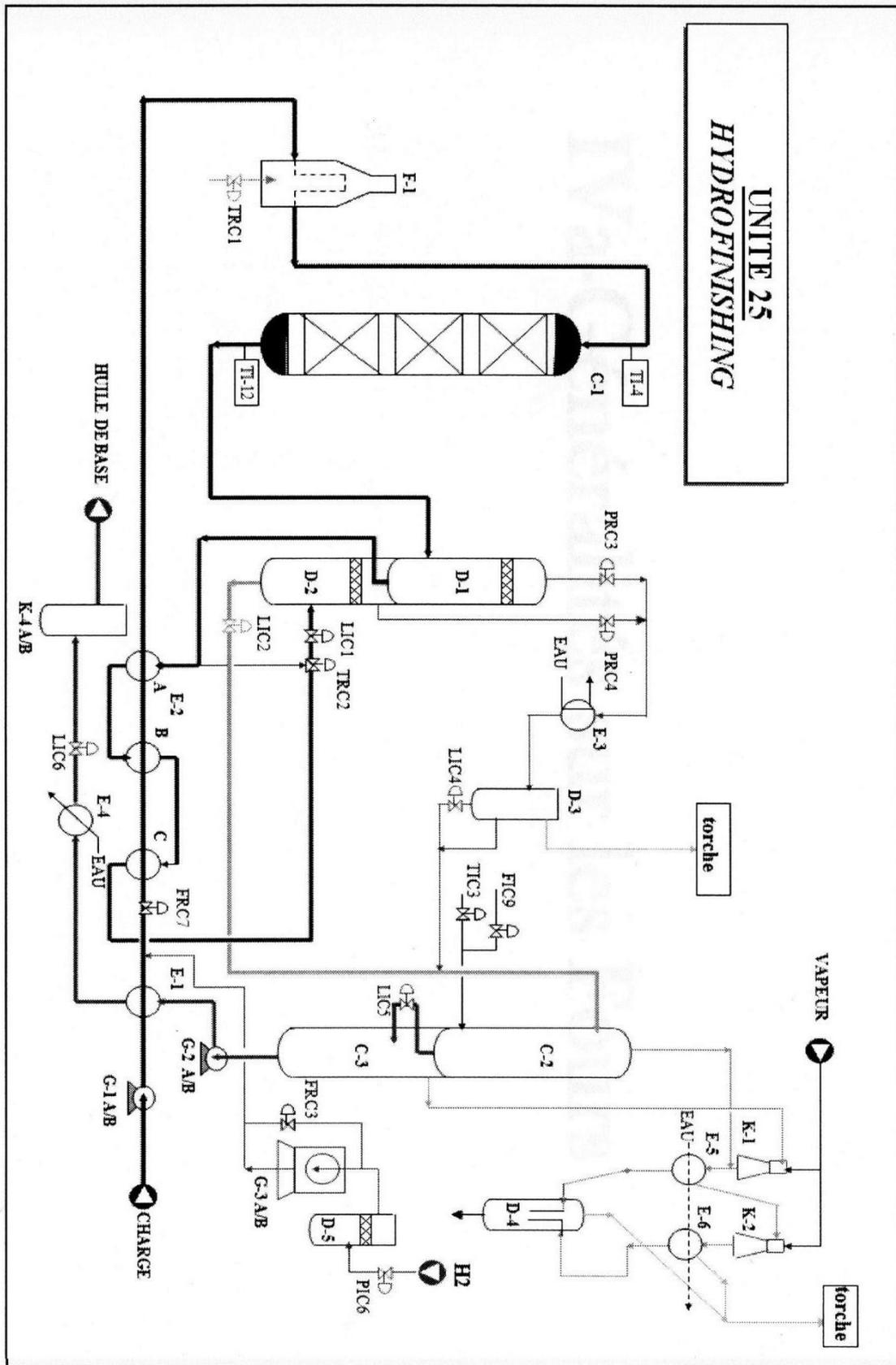


Fig.II.13 Schéma d'une installation de traitement finishing

II.6.3 Principaux paramètres du procédé**Température :**

A la température inférieure à 340°C, la désulfuration en phase vapeur se déroule faiblement. On utilise généralement 400°C, plus de cette température le catalyseur se cokéfie, c'est à dire il se produit l'hydrocraquage et la condensation des structures.

Pression :

Le degré de désulfuration augmente avec l'augmentation de la pression ou précisément la pression partielle de l'hydrogène. L'augmentation de la pression partielle de l'hydrogène des hydrocarbures naphthéniques, diminue la formation du coke du catalyseur, donc accroît la durée de vie du catalyseur, enfin augmente la saturation des oléfines et l'hydrogénation des aromatiques laquelle provoque une consommation élevée de l'hydrogène.

On utilise une pression de 20 à 70 atmosphères.

Vitesse spatiale :

La diminution de la durée de contact conduit à la diminution du degré de désulfuration, donc de la diminution de la consommation de l'hydrogène et la cokéfaction du catalyseur. $V = 1 \text{ à } 10 \text{ h}^{-1}$.

Pureté du gaz : on emploie souvent l'hydrogène provenant du réformage catalytique qui contient 65 à 85 %.

Additifs pour l'amélioration des qualités des huiles lubrifiantes :

La production des huiles lubrifiantes pour les installations déjà vues ne peut pas donner toutes les qualités désirables assurant pleinement le fonctionnement normal des moteurs et des machines même par les moyens les plus modernes. Donc il est nécessaire d'ajouter à ces produits des produits spéciaux appelés additifs ou dopes, améliorant les qualités de service et assurant leur stabilité au stockage. Il faut noter que ces produits ajoutés en petites quantités ne changent en aucune manière les exigences à la qualité des huiles finies.

Toutefois les huiles de différente nature réagissent différemment aux additifs. Exemple, l'efficacité des additifs aux huiles n'est obtenue que si les résines et les hydrocarbures aromatiques à courtes chaînes sont éliminés à un degré suffisant. Leur choix et leur action dépendent de beaucoup de l'origine des huiles, du procédé de raffinage, de la nature des hydrocarbures aromatiques, de résines et leur concentration.

On peut distinguer trois grandes classes d'additifs selon le mode d'action.

1-Additifs dont leur action est uniquement physique, ils interviennent sur la rhéologie du lubrifiant à basse et haute température.

2-Additifs qui interviennent chimiquement (antioxydants) et les additives extrêmes pressions.

3-Additifs qui interviennent sur les interfaces

On distingue les additifs suivants

1-Additifs augmentant la tenue des huiles à l'oxydation (anti oxydants) ou l'augmentation à la stabilité.

2-Additifs anti corrosifs.

3-Additifs de détergence et de dispersion (détergents et dispersants)

4-Additifs abaissant le point de congélation des huiles (dépresseurs)

5-Additifs améliorant la viscosité.

6-Additifs augmentant le pouvoir lubrifiant des huiles (diminution de la friction et de l'usure)

7-Additifs anti mousse.

Chapitre III :

Généralités Sur Les Fours

III.1 Introduction

Les fours, objet de ce chapitre, sont des appareils dans lesquels le chauffage des fluides s'effectue par les fumées produites par la combustion d'un combustible liquide ou gazeux.

Ils sont dits à chauffage direct, car la chaleur des fumées est cédée directement au fluide froid qui circule dans un serpentín tubulaire. Ces fours sont distincts des fours à chauffage indirect, dans lesquels le fluide à réchauffer circule dans un faisceau tubulaire baignant dans un fluide chaud, lui-même chauffé directement par les fumées du combustible. Les fours à chauffage direct doivent aussi être distingués des fours à chauffage par mélange (tels que les régénérateurs de catalyseur), dans lesquels le fluide à réchauffer est porté en température par mélange avec les fumées d'un combustible. La chaleur transmise au fluide chauffé peut servir :

- a un simple réchauffage : on élève la température du fluide traité afin de lui faire subir, ultérieurement, une transformation physique ou chimique (surchauffeur de vapeur, réchauffeur de gaz d'un reformeur catalytique, réchauffeur d'hydrocarbure liquide (charge d'unité de craquage catalytique, fluide caloporteur, etc.).
- a une transformation chimique : celle-ci peut s'effectuer par pyrolyse (fours de craquage à la vapeur pour la fabrication d'éthylène, fours de craquage de dichlorethane four de craquage acide acétique .. etc. .

III.2 Utilisation des fours tubulaires en raffinerie :

Dans la plupart des installations de raffinerie ou de pétrochimie, l'apport des calories nécessaires au procédé mis en œuvre se fait par l'intermédiaire d'un four à chauffage direct dans lequel les calories produites par la combustion sont transmises par les mécanismes de la radiation, de la conduction et de la convection au fluide à réchauffer qui circule dans un serpentín tubulaire ou un faisceau de tubes, d'où le nom de fours tubulaires que l'on donne à ce type d'appareils. Les usages de ces 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. On peut citer les exemples suivants :

➤ Réchauffage d'un fluide sans changement de phase :

C'est le cas, par exemple, des fours à huile chaude placés sur un circuit alimentant plusieurs échangeurs ou se fait le transfert des calories au procédé; c'est encore le cas des fours de charge de certaines installations où il s'agit de porter le fluide à la température nécessaire pour obtenir une réaction chimique qui se produit dans une capacité extérieure

au four (réacteur) en présence ou non d'un catalyseur. On bien encore, s'il s'agit du réchauffage intermédiaire d'un fluide, au tours d'une réaction chimique sur catalyseur, entre les divers stades de la réaction, pour remonter à température du produit à un niveau convenable lorsque l'enthalpie de la réaction est importante.

➤ **Réchauffage d'un fluide avec vaporisation partielle :**

C'est le cas de la plupart des fours des installations de distillation (four de charge ou four rebouilleur en fond de colonne). Les fours de ce type sont d'ailleurs les plus nombreux et sont, en général, ceux dont la capacité thermique est la plus élevée.

➤ **Réchauffage d'un fluide avec réaction chimique :**

C'est le cas des fours de charge des unités de craquage et de reformation thermiques, Le produit est d'abord réchauffé jusqu'à la température de réaction, puis est maintenu à cette température un certain temps dans une section spéciale du faisceau appelée zone de soaking ou de maturation, où les calories transmises comprennent celles absorbées par la réaction. Dans certains cas, lorsque la réaction se fait en présence de catalyseur: celui-ci est placé dans les tubes même du four.. Il s'agit là de fours un peu particuliers qui sortent du cadre de notre étude.

III.3 Caractéristiques générales des fours tubulaires :

Un four tubulaire est conçu et calculé pour permettre de transférer au fluide une quantité de chaleur donnée par heure, le débit et les températures d'entrée et de sortie étant fixes à l'avance. Il faut donc faire apparaître dans le four une quantité de chaleur suffisante, à la température voulue, pour réchauffer le fluide et compenser les pertes, et transférer la chaleur disponible au fluide dans des conditions telles que celui-ci ne soit pas détérioré. Le four doit donc être avant tout agencé en vue de la combustion d'une quantité suffisante de combustible. Il devra comporter les brûleurs nécessaires; ceux-ci devront pouvoir être alimentés en combustible et en air. Dans la plupart des fours de raffinerie, l'admission de l'air de combustion dans le four est obtenue par la dépression qui règne à l'intérieur du four. Cette dépression est elle-même due au tirage de la cheminée. Les températures obtenues dans les produits de la combustion sont toujours très élevées. On peut, d'ailleurs, les augmenter en préchauffant l'air de combustion par les fumées allant à la cheminée. Les échanges thermiques à l'intérieur du four se font à la fois par les trois mécanismes de la radiation, de la convection et de la conduction. Les produits de la combustion cèdent leur chaleur aux tubes par radiation et convection ; à travers les parois des tubes, le transfert se fait par conduction ; à l'intérieur des tubes, c'est la convection qui intervient de nouveau; enfin, les pertes calorifiques à travers les murs du four se font par conduction. Le phénomène le plus important à prendre en considération est la radiation des produits de la

combustion. Cependant, l'historique des fours tubulaires montre que l'intérêt de ce phénomène a d'abord été négligé.

III.4 Description et construction des fours :

III.4.1 Description Générale :

Un four tubulaire (Fig.II.1) est constitué d'une enveloppe métallique de formes diverses, souvent parallélépipédique ou cylindrique. Le four comporte une zone dite « zone de radiation » qui est celle où les tubes sont directement exposés à la flamme et reçoivent la chaleur principalement par radiation des produits de la combustion. En fait, cette zone est, à proprement parler, la chambre de combustion où se développe la flamme. C'est en général, devant les parois de cette zone où sont placés les tubes, la plupart du temps ont une rangée, parfois en deux rangées. La zone de convection, si elle existe, est installée à la sortie des fumées de la chambre de combustion. Elle est constituée d'un faisceau de tubes placés en quinconce, perpendiculairement ou parallèlement à la direction des fumées. Dans les deux cas, on cherche à obtenir une vitesse assez grande pour les fumées, de façon à augmenter, le coefficient d'échange. Les tubes placés en zone de convection ont quelque fois leur surface extérieure, dans la partie en contact avec les fumées, recouverte d'ailettes ou d'aiguilles (studs) qui augmentent considérablement la surface d'échange. L'enveloppe métallique du four doit être suffisamment renforcée pour résister aux actions du vent et supporter l'ensemble du faisceau tubulaire. Elle est constituée d'une ossature en charpente et de tôles boulonnées ou soudées sur cette charpente. Comme, en général, la chambre de combustion est en dépression par rapport à l'atmosphère du fait du tirage de la cheminée, cette enveloppe doit être suffisamment étanche pour éviter des entrées d'air parasites qui auraient un effet préjudiciable sur le rendement du four. Les parois intérieures du four, particulièrement celles de la chambre de combustion, sont protégées contre les effets de la température par un garnissage réfractaire et isolant qui, en outre, a pour but de réduire les pertes calorifiques à l'extérieur. Le plancher de la zone de combustion constitue la sole du four; elle est, elle aussi, recouverte d'une couche de produits réfractaires et isolants. Les parois verticales (ou la sole dans les fours verticaux) sont percées d'orifices dans lesquels sont placés les brûleurs. Un certain nombre de regards permettent d'observer la combustion, la forme des flammes, la tenue des tubes ; des portes d'accès à l'intérieur du four sont aussi ménagées dans les parois. Ces regards et ces portes doivent être hermétiquement clos lorsque le four est en service. Enfin, les fumées quittent le four par l'intermédiaire de la cheminée en passant, le cas échéant, par le réchauffeur d'air. La cheminée de forme cylindrique peut être située directement sur le four ou sur une fondation séparée. Le conduit amenant les fumées à la base de la cheminée s'appelle carneau. Le rôle de la cheminée est multiple. Son premier but est de conduire les fumées dans l'atmosphère à une hauteur telle, qu'elles ne risquent pas de gêner le voisinage : ceci est important, en

particulier dans les installations très resserrées ou les cheminées des fours doivent être plus élevées que les colonnes voisines. Mais la cheminée, par son tirage, met la chambre de combustion en dépression et provoque ainsi l'entrée de l'air nécessaire à la combustion par les volets d'air des brûleurs. Ses dimensions, hauteur et diamètre, doivent donc être calculées pour obtenir ce tirage. La cheminée est souvent protégée intérieurement, au moins dans sa partie basse où les fumées sont encore très chaudes, par une couche de béton réfractaire, ce qui permet de la construire en acier ordinaire. Quand la cheminée est de grande hauteur, elle est quelquefois construite en béton. À sa base, on trouve souvent un registre qui permet de régler le tirage. Ce registre doit être construit en acier résistant à la température des fumées.

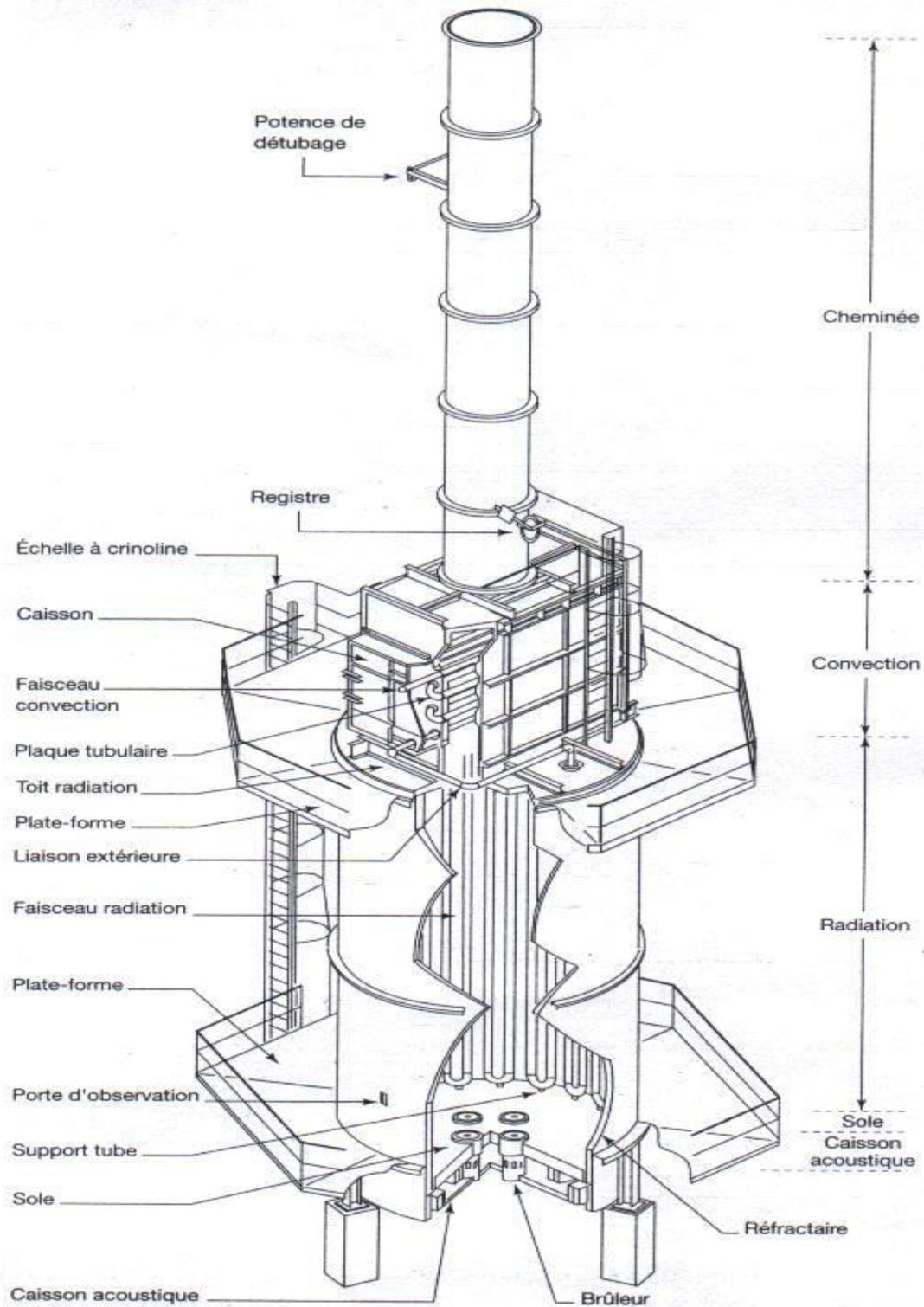


Fig.III.1 Four Tubulaire

III.4.2 Matériaux réfractaires et isolants :

Le revêtement des parois intérieures du four est constitué soit d'un mur en briques réfractaires, soit d'une couche de béton réfractaire. Les produits réfractaires utilisés dans les fours de raffinerie sont en général constitués d'argiles ou de terre de diatomée. Ces produits joignent à leur qualité réfractaire une faible conductivité calorifique; ils sont donc en même temps isolants. Les bétons sont constitués d'un liant hydraulique, en général un ciment fondu, auquel on ajoute en proportions variables, suivant les conditions d'utilisation, des produits tels que des granules de diatomée et de vermiculite. On obtient, avec séchage pour l'évaporation de l'eau, un béton de faible densité, résistant bien à des températures de l'ordre de 1 000-1200°C et dont la Conductivité thermique est de l'ordre de 0,25 kcal. m--1.h-1.(°C). Les bétons sont appliqués pistolet pneumatique sur les parois du four ou ils sont maintenus en place par un grillage métallique tendu sur des aiguilles soudées à la paroi intérieure du four. Les briques réfractaires sont en général rectangulaires (220 x 110 mm), mais on utilise aussi des pièces moulées ou découpées dans des briques standard pour le montage de cylindriques ou de voutes. Les briques des murs sont liées entre elles par un coulis ou ciment réfractaire spécial

Lorsque la température de la chambre de combustion est très élevée, les parois réfractaires sont constituées de plusieurs épaisseurs de briques. On interpose entre la dernière épaisseur de briques et la paroi métallique du four une couche d'isolant (laine de verre ou de roche) qui permet de réduire les pertes calorifiques.

III.4.3 Bruleurs :

Les bruleurs ont pour rôle de provoquer le mélange intime de l'air et du combustible on vue d'obtenir la combustion complète de celui-ci. L'air de combustion est introduit par des volets d'air réglables du fait, la plupart du temps, de la dépression qui règne dans le four. Le combustible, gaz ou huile, débouche dans le courant d'air au centre d'un ouvrage réfractaire qui, par la chaleur qu'il rayonne, assure la stabilité de la flamme. Un bruleur est conçu pour brûler soit du gaz, soit de l'huile. Certains bruleurs sont équipés pour brûler l'un ou l'autre combustible. Les bruleurs à gaz sont de deux types soit à prémélange (brailleurs à air induit), soit sans prémélange. Dans les premiers, une partie de l'air de combustion est mélangé au combustible avant que celui-ci ne débouche au nez du bruleur. Ce prémélange permet d'obtenir une combustion plus rapide mais ce type de bruleur ne peut être utilisé sur les gaz dans lesquels la vitesse de propagation de la flamme est élevée (gaz riche ou hydrogène). Les bruleurs sans prémélange donnent une flamme de diffusion, l'air de combustion entrant dans le four parallèlement au jet de gaz et diffusant lentement dans celui-ci. Ils donnent une flamme plus longue et plus lumineuse que ceux à prémélange. Pour obtenir la combustion de l'huile, il faut que celle-ci soit finement pulvérisée dans le

courant d'air de combustion. Cette pulvérisation s'obtient soit à l'aide de vapeur d'eau, soit mécaniquement. Dans les brûleurs à pulvérisation à la vapeur, huile combustible et la vapeur sont mélangées dans une chambre de mélange et sortent ensemble par l'orifice du brûleur sous l'aspect d'une mousse qui se résout en très fines particules. La consommation de vapeur est d'environ 35% du poids de celle du combustible. Dans les brûleurs à pulvérisation mécanique, l'huile arrive sous pression au nez du brûleur ou elle est pulvérisée par la détente dans l'orifice de sortie. Les brûleurs à pulvérisation à la vapeur ont une souplesse de fonctionnement beaucoup plus grande que ceux à pulvérisation mécanique. Pour ceux-ci, en cas de modification importante du régime de marche, il est nécessaire de changer l'orifice pour obtenir une pulvérisation correcte. L'huile doit être réchauffée avant d'arriver aux brûleurs à une température telle que sa viscosité soit suffisamment faible (de l'ordre de 3 à 5 Engler). D'autre part, la vapeur de pulvérisation doit être légèrement surchauffée pour être complètement sèche.

III.4.4 Préchauffeurs d'air :

Plusieurs types de préchauffeurs d'air ont été conçus et mis au point. Ce sont, en fait, des échangeurs de chaleur entre les fumées et l'air de combustion pour lesquels on cherche à obtenir des pertes de charge réduites pour éviter l'emploi de ventilateurs, tout en ayant un bon coefficient de transfert pour diminuer les investissements pour un taux de récupération de chaleur donné. D'autre part, les effets de la corrosion à l'acide sulfurique doivent être pris en considération lorsque la température des fumées à la sortie du préchauffeur devient inférieure au point de rosée (170 à 200°C). On utilise souvent, pour éviter cet inconvénient, des appareils à courants parallèles dans lesquels l'air froid entre du même côté que les fumées chaudes. Les préchauffeurs d'air peuvent être constitués comme des échangeurs de chaleur tubulaires ou à plaques; dans les premiers, les fumées circulent à travers les tubes, l'air de combustion à l'extérieur. Dans les seconds, constitués de plaques métalliques formant des sortes d'enveloppes plates, les gaz chauds et l'air à réchauffer circulent dans des directions opposées de chaque côté de ces plaques. On utilise peu en raffinerie les systèmes à récupération à empilages, fréquents dans les fours de métallurgie. Par contre, on rencontre souvent des préchauffeurs type Ljungstrom, ayant la forme d'un cylindre court, partagé en sections par des cloisons radiales. Chaque section est équipée d'un grand nombre de plaques parallèles à l'axe, laissant entre elles un passage étroit. Ce cylindre est animé d'un mouvement de rotation autour de son axe, les fumées passant par une moitié du cylindre et l'air froid par l'autre moitié. La rotation du cylindre amène la partie réchauffée par les fumées au contact de l'air froid à qui elle abandonne sa chaleur avant de retourner dans les fumées où elle se réchauffe de nouveau.

III.4.5 Contrôle et marche des fours :

La plupart des fours de raffinerie sont équipés d'une régulation automatique de la température de sortie du fluide réchauffé, le débit de combustible étant asservi à cette température. Comme, en fait, les installations ont toutes un contrôle automatique poussé, les variations de température de sortie sont faibles et il n'est pas nécessaire de prévoir un réglage automatique de la combustion et en particulier de l'excès d'air. Cependant, dans le cas d'une variation importante du débit de combustible, il faut procéder au réglage manuel de l'excès d'air. Un point important à considérer est la nécessité d'arrêter les brûleurs en cas d'arrêt de la circulation dans les tubes; en effet, si le débit de fluide à réchauffer devient nul sans que l'alimentation des brûleurs soit coupée, les tubes risquent très rapidement d'être surchauffés car ils ne sont plus refroidis par la circulation du fluide et cette surchauffe peut provoquer des dégâts importants. Il faut donc prévoir une alarme de débit bas sur le débit de fluide à réchauffer et, éventuellement, un système coupant l'arrivée de combustible aux brûleurs. La combustion doit être l'objet d'une surveillance continue, en particulier, en ce qui concerne la température des fumées, la dépression dans le four et la forme des flammes. Toute valeur excessive de la température des fumées, de même que la montée en pression à l'intérieur du four, peut provoquer des dommages préjudiciables au fonctionnement ou à la vie du four. Les flammes doivent être vigoureuses, sans étincelles. Elles ne doivent jamais lécher les tubes. Nous terminerons en rappelant que, comme tout autre équipement, colonnes, échangeurs des installations, les fours doivent faire l'objet d'inspections régulières, en particulier, en ce qui concerne l'état des réfractaires et des tubes, et que toute partie défectueuse doit être réparée ou remplacée à bref délai.

III.5 Les types des fours:

Il existe de nombreuses dispositions des tubes, dans les zones de radiation et de convection, et d'une zone par rapport à l'autre. Il en résulte de nombreux types de fours. On peut, toutefois, distinguer les différentes catégories suivantes :

III.5.1 Les fours cylindriques verticaux :

la zone de radiation se présente sous la forme d'un cylindre à axe vertical. Les brûleurs sont placés sur la sole, à la base du cylindre. La surface d'échange couvre les parois verticales et présente donc une symétrie circulaire par rapport au groupe de chauffage (fig.II.2).

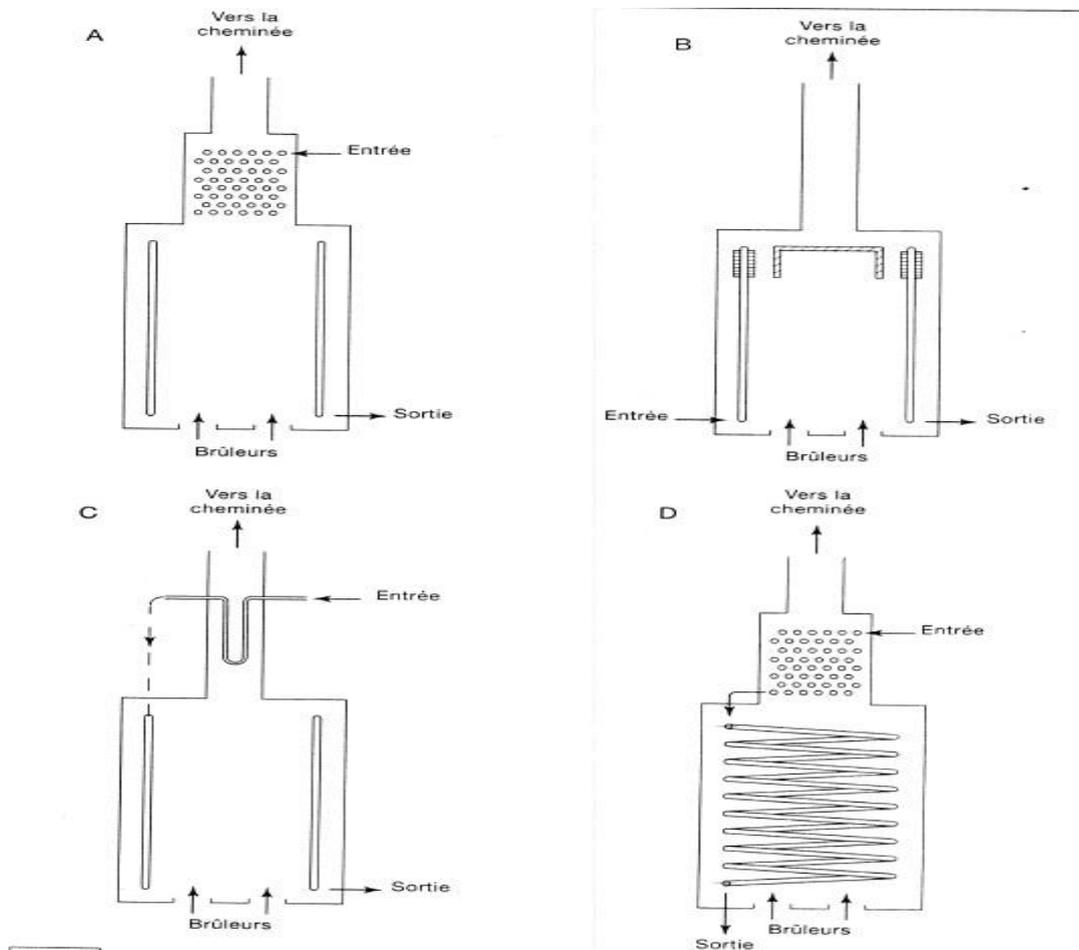


Fig.III.2 Les fours cylindriques verticaux

III.5.2 Les fours dits «boîtes a tubes verticaux» :

dans ces fours, la forme générale de la zone de radiation est celle d'un parallélépipède. Les brûleurs sont situés sur la sole, la surface d'échange couvre les parois verticales latérales. Parfois la chambre de combustion est divisée en plusieurs cellules, par des rangées de tubes parallèles a une des faces des parois latérales (fig.II.3).

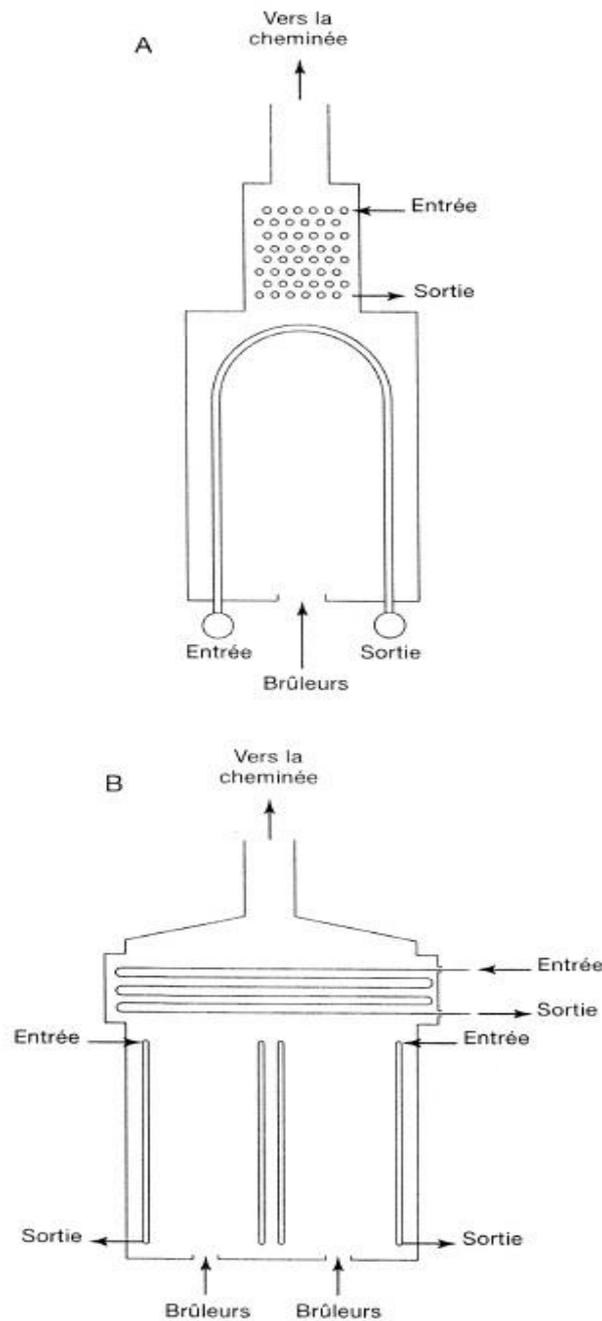


Fig.III.3 Les fours dits «boîtes a tubes verticaux»

III.5.3 Les fours dits "cabines" A tubes horizontaux :

dans ces fours la forme générale de la zone de radiation est celle d'un parallélépipède, dont la plus grande longueur est horizontale. Les tubes sont places horizontalement le long des parois latérales les plus longues. Les brûleurs sont situés sur la sole, ou sur la partie inférieure des murs latéraux les plus longs, ou encore sur les murs d'extrémités ne recevant pas les tubes (fig.II.4).

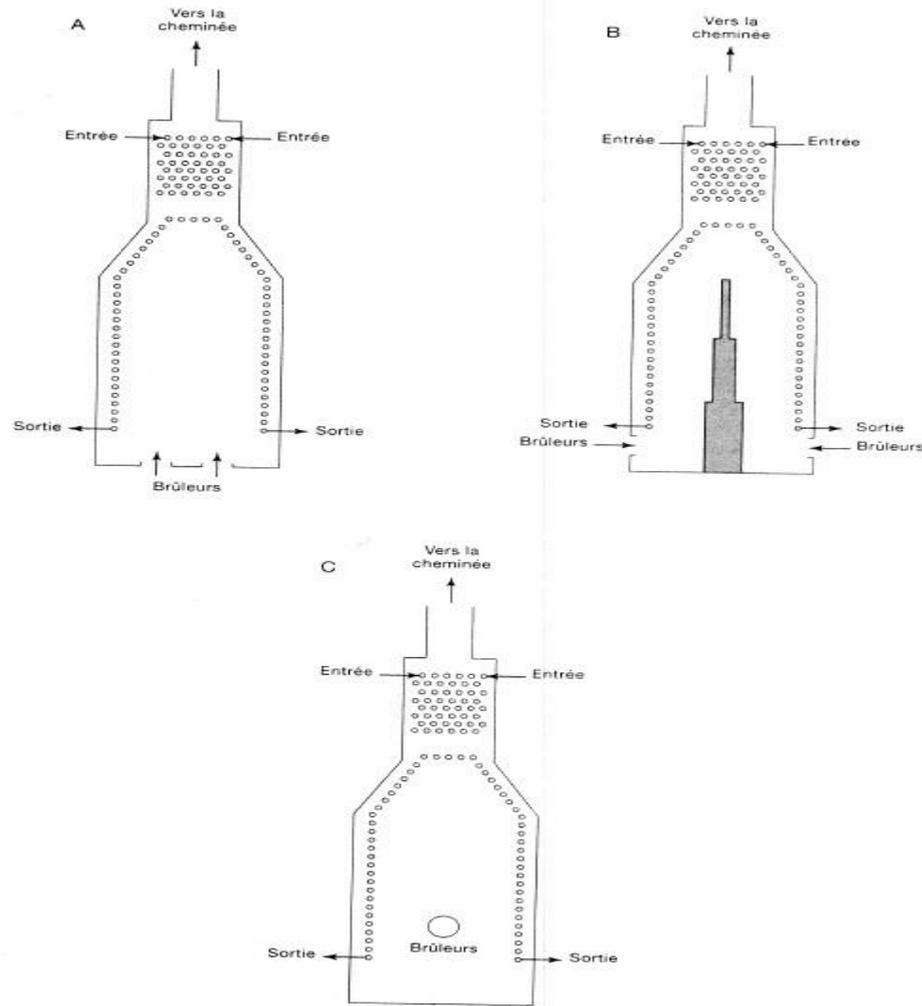


Fig.III.4 Les fours dits "cabines" A tubes horizontaux

III.5.4 Les fours a chauffage par murs radiants :

la surface d'échange est placée dans le plan médian de la chambre de combustion.
 Les bruleurs sont repartis sur les parois latérales longitudinales (fig.II.5)

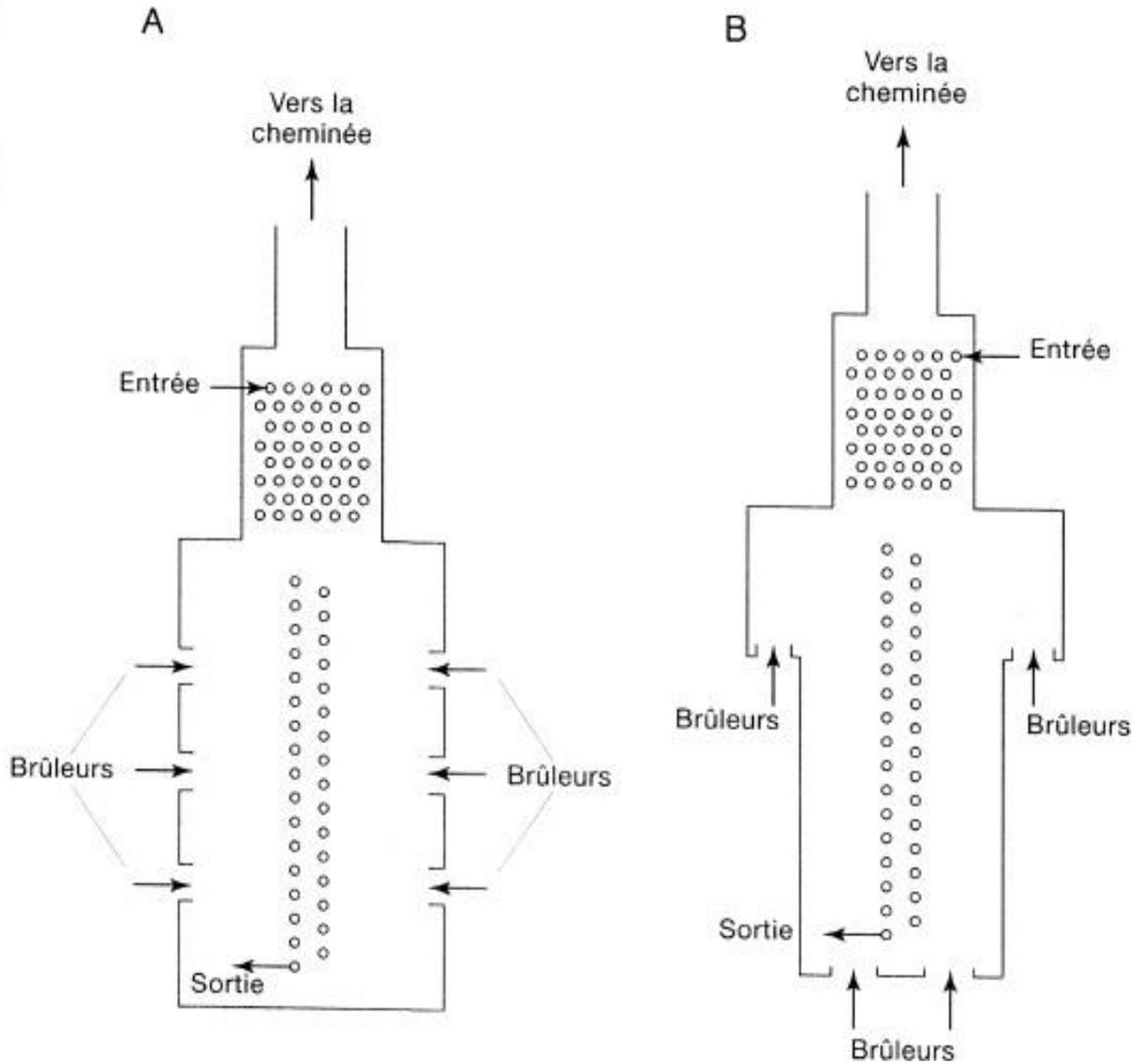


Fig.III.5 Les fours a chauffage par murs radiants

III.5.5 Les fours dits a double chauffe :

dans ces derniers, le plan des tubes constituant la surface d'échange, est dans le plan médian des rangs de bruleurs (fig.II.6)

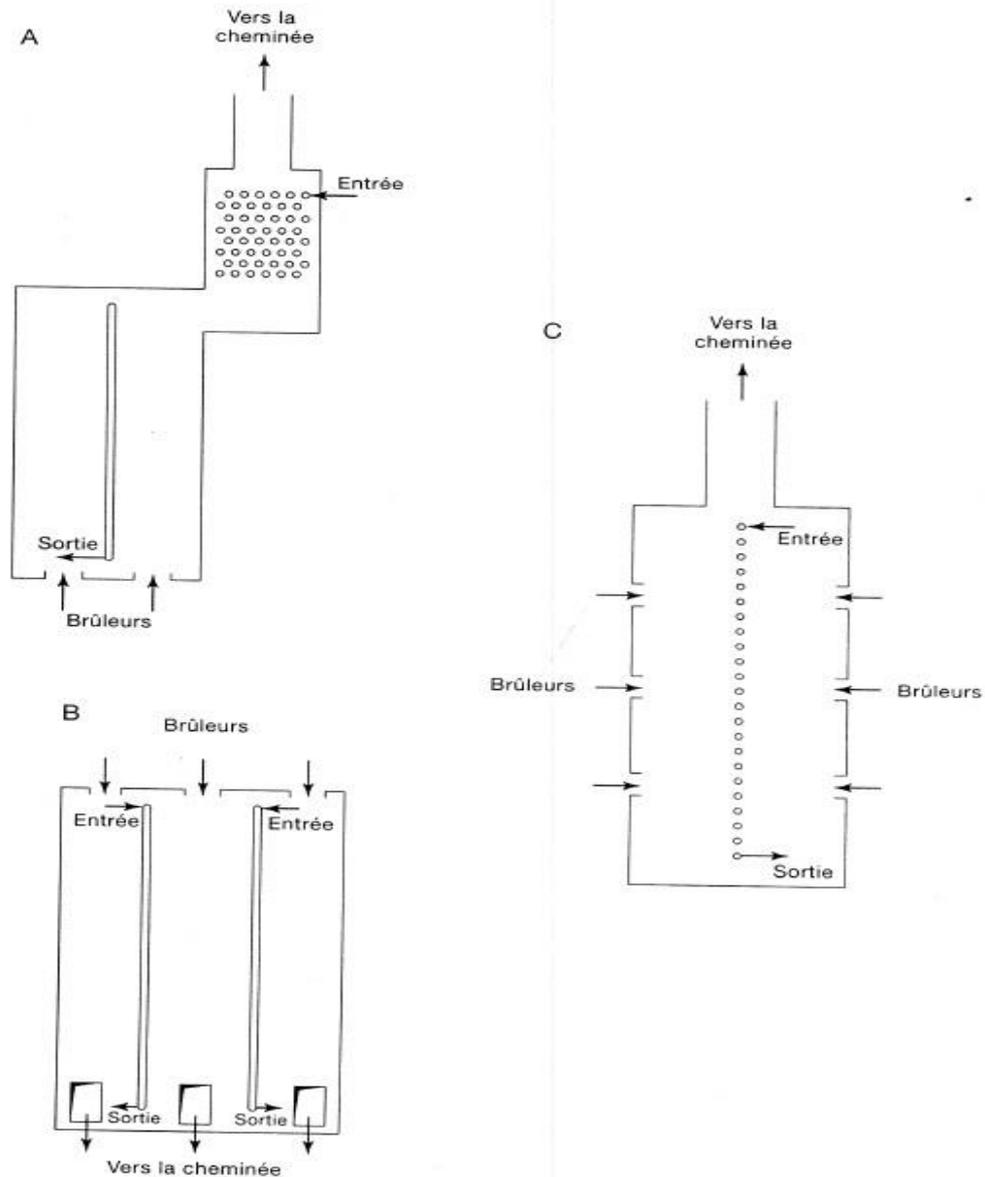


Fig.III.6 Les fours dits a double chauffe

III.6 Modes de transfert de chaleur :

La chaleur est transférée par conduction, convection et rayonnement. L'importance de chaque mode varie et normalement, dans l'industrie pétrolière et gazière, le composant rayonnant est négligé (excepté dans les fours et les systèmes à torche).

III.6.1 Conduction :

La chaleur est transférée par conduction dans un fluide immobile ou une matière solide à un niveau moléculaire. Ces molécules présentant un niveau énergétique plus élevé car elles sont plus chaudes perdent une partie de leur énergie au profit des molécules voisines. La vitesse à laquelle la chaleur est transférée dépend de la différence de température entre les côtés chaud et froid et de la conductivité thermique (k) de la substance. Chaque substance présente une conductivité distincte qui varie légèrement en fonction de la température. Pour transférer de la chaleur, il faut utiliser un matériau à conductivité thermique élevée. À l'inverse, s'il est nécessaire d'éviter une perte de chaleur, il faut opter pour un matériau présentant une faible conductivité thermique. Comme vous pouvez le constater, les variables les plus importantes sont la différence de température et la zone. Une fois le matériau sélectionné, la conductivité thermique de ce dernier peut être trouvée dans les tables, l'épaisseur étant un problème de conception mécanique.

III.6.2 Convection :

Le terme convection est utilisé pour faire référence au transfert de chaleur d'une surface vers un fluide en mouvement ou l'inverse. Dans ce cas, la chaleur et le fluide se déplacent tous deux dans la même direction. Une convection naturelle se produit dans un fluide immobile car la partie du fluide en contact avec la surface chaude devient moins dense et, en raison de la gravité, s'éloigne, emportant avec elle la chaleur. Pour augmenter la vitesse d'évacuation de la chaleur, nous devons faire en sorte d'éloigner le fluide de la surface chaude plus rapidement afin qu'il soit remplacé par une substance plus froide. C'est ce que l'on appelle la convection forcée et il s'agit du mode de transfert de chaleur par convection dominant. Lorsqu'un fluide s'écoule le long d'une surface immobile, il ne se déplace pas entièrement à la même vitesse. Au niveau de la surface proprement dite, la vitesse est nulle mais plus loin, elle augmente rapidement. Au niveau de la surface, l'énergie est transférée par mouvement moléculaire aléatoire (diffusion) mais le mouvement global du fluide reprend le dessus et transfère chaleur et fluide par fractions discrètes vers les régions à plus basse température. Toutes les propriétés du fluide jouent un rôle. La densité,

En cas de changement de phase au niveau de la surface (ébullition ou condensation, par exemple), la chaleur latente devient importante et permet d'atteindre une vitesse de transfert de chaleur bien plus élevée.

III.6.3 Rayonnement :

À des températures élevées, le rayonnement s'érige en méthode de transfert de chaleur prédominante. À la différence de la conduction et de la convection qui nécessitent une substance pour transférer de l'énergie, le rayonnement est mis en œuvre sans qu'il soit nécessaire de placer un matériau entre la source et le récepteur. En fait, il est plus efficace sous vide. Bien que tous les organismes émettent des rayonnements en fonction de leur température, le transfert d'énergie net s'effectue systématiquement de la surface plus chaude vers la surface plus froide. On entend par rayonnement le transfert d'énergie par ondes électromagnétiques avec pour conséquence refroidissement de la surface émettrice, à moins que l'énergie ne soit remplacée. L'intérieur d'un four bouilleur irradie de la chaleur vers les tubes autour des parois. La chaleur est fournie par la combustion d'un combustible. La température dans le four est d'environ 2000°C. À des températures plus basses, la quantité de chaleur transférée par rayonnement devient faible et ne tient pas un rôle important dans la conception et l'exploitation d'équipements d'échange de chaleur.

III.7 La Combustion :

Les combustibles utilisés dans les fours de raffinage ou de pétrochimie sont des gaz, gaz naturel ou gaz de recyclage provenant du système de production ou encore des liquides, fuel oil commerciaux ou résidus. Les réactions de combustion mettent en valeur les composés hydrocarbonés avec l'oxygène de l'air, ces réactions permettent de déterminer la quantité d'oxygène et donc l'air nécessaire à la combustion.

III.7.1 Les combustibles utilisés :

On peut également classer les fours en fonction de l'énergie utilisée. Le type d'énergie disponible et utilisé a en effet, un impact important sur la conception, l'utilisation et l'exploitation des fours. On trouvera dans le domaine des fours industriels, avec plus ou moins d'importance selon les activités, toutes les formes d'énergies :

- des fours électriques : il s'agit des fours à résistance (effet de JOULE), à arcs, induction et à électrodes immergées.
- fours à gaz : ils utilisent le gaz naturel, mais aussi le gaz de cokerie, le gaz de raffinerie et le gaz à haut fourneaux.
- fours à combustibles liquides : ils utilisent le fuel lourd, mais aussi le gazole et le naphta.
- fours à combustibles solides : ils utilisent les charbons ou le coke de pétrole (généralement sous forme pulvérisée, mais aussi les déchets divers. La

combustion peut être définie comme la réaction chimique qui a lieu lors de la combinaison entre l'oxygène et une matière combustible. Cette réaction est globalement exothermique, c'est-à-dire qu'elle se produit avec un dégagement de chaleur. Les combustibles sont multiples (gaz, pétrole, bois, charbon, ...) mais ils ont un point commun: celui de contenir principalement des hydrocarbures, c'est-à-dire des combinaisons multiples de carbones et d'hydrogènes. La composition des combustibles peut être représentée par la formule générique : CH_yO_x Soit pour un atome de carbone (C), on trouve en moyenne "y" atomes d'hydrogène (H) et "x" atomes d'oxygène (O)

Combustible	Réaction de combustion	Eau vapeur (Kcal)	Eau liquide (Kcal)
C	$C + O_2 + 4N_2 \rightarrow CO_2 + 4N_2$	97.6	
C	$C + 1/2O_2 + 2N_2 \rightarrow CO + 2N_2$	29.4	
S ₂	$S_2 + 2O_2 + 8N_2 \rightarrow 2SO_2 + 8N_2$	138.6	
S ₂	$S_2 + 3O_2 + 12N_2 \rightarrow 2SO_3 + 12N_2$	183.6	
H ₂	$H_2 + 1/2O_2 + 2N_2 \rightarrow CO_2 + 2N_2$	58.2	69.1
CO	$CO + 1/2O_2 + 2N_2 \rightarrow CO_2 + 2N_2$	68.2	
CH ₄	$CH_4 + 3O_2 + 12N_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O + 12N_2$	192.5	214.3
C ₂ H ₄	$C_2H_4 + 3O_2 + 12N_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O + 12N_2$	319.7	341.5
C ₂ H ₂	$C_2H_2 + 5/2O_2 + 10N_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O + 10N_2$	304.8	315.7
C ₆ H _{6GAZ}	$C_6H_6 + 15/2O_2 + 30N_2 \rightarrow 6CO_2 + 3H_2O + 30N_2$	751.5	748.2
C ₄ H ₁₀	$C_4H_{10} + 13/2O_2 + 26N_2 \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O + 26N_2$	625.7	680.2
C ₃ H ₈	$C_3H_8 + 5O_2 + 20N_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O + 20N_2$	485.1	528.7
C ₂ H ₆	$C_2H_6 + 7/2O_2 + 14N_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O + 14N_2$	340.9	373.6

III.7.2 Excès d'air :

Pour avoir une combustion complète, c'est-à-dire sans présence de carbone dans les fumées sortante du four, il est nécessaire d'introduire dans le four une quantité d'air supérieur à celle strictement nécessaires à la combustion. Cette quantité est l'excès d'air qu'on exprime en pour-cent de la quantité d'air théorique. Cette notion d'excès d'air est extrêmement importante. En effet, l'air inutile à la combustion est réchauffé au cours de son passage dans le four à la température des fumées, ce qui constitue une perte supplémentaire. Il y a donc intérêt à réduire l'excès d'air au minimum, sans toutefois descendre au-dessous d'une limite raisonnable, car l'apparition de CO dans les fumées réduit considérablement la quantité de chaleur dégagée par la combustion et peut fort bien rendre nécessaire d'augmenter la quantité de combustible, donc en définitive, diminuer le rendement plus que ne le fait un excès d'air légèrement plus élevé permettant une combustion complète. Les fours modernes, lorsqu'ils sont équipés de bruleurs bien adaptés aux combustibles utilisés, peuvent être conduits avec un excès d'air de 20% à 30%.

Chapitre IV :

Partie calcul des fours

IV.1 Etude du cas réel

Généralités :

La plupart des installations de raffineries ou de pétrochimie nécessitent des quantités importantes d'énergie calorifique. Cette énergie est fournie par l'intermédiaire d'un four à chauffage direct dans lequel les calories, produites par la combustion, sont transmises par les mécanismes de la radiation, de la conduction et de la convection au fluide à réchauffer circulant dans un serpentin tubulaire ou un faisceau de tubes.

La charge alimentant la chaîne de fabrication des huiles de base est réchauffée par les fours 21F1 ,22F1 ,23f1 ,23F2 , 24F1, 24F2, 25F1 est de type cylindrique. Il comporte, Comme tous les fours tubulaires :

- **Une zone de radiation** : c'est une zone à l'intérieur de laquelle les tubes sont directement exposés à la flamme et reçoivent la chaleur, principalement par radiation, des produits de la combustion. Cette zone est la chambre de combustion et elle est consacrée pour le réchauffage de la charge.
- **Une zone de convection** : elle est localisée à la sortie des fumées de la chambre de perpendiculairement à la direction des fumées.

Enfin, les fumées quittent le four par l'intermédiaire d'un cheminé qui est situé directement sur le four.

Les fours sont alimentés par le fuel gaz comme combustible de même composition.

IV.2 Evaluation de la quantité transmise en radiation :

Nous tenons compte, dans le calcul du four, uniquement de la zone de radiation pour effectuer la calcul de la quantité de chaleur , il faut procéder à la détermination de plusieurs paramètres tels que :

- La quantité des fumées formées et celle de l'oxygène nécessaire pour la combustion
- Le pouvoir calorifique inférieur du gaz combustible
- Le calcul du rendement du four.

Le calcul nécessite de connaître la composition du combustible. L'analyse chromatographique du fuel gaz au mois de juin 2015 a donné la composition

Suivante : **Tableau IV. 1 composition du fuel gaz**

Composition	Vol
H ₂	23.18
C ₁	67.00
C ₂	6.18
C ₃	2.48
I + nC ₄	0.96
I + nC ₅	0.12
C ₆	0.08
Total	100.0

Etude de la combustion :

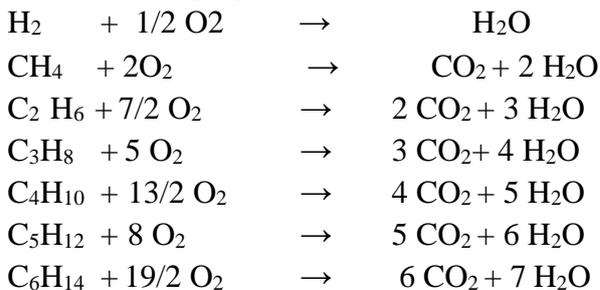
Dans nos calculs , nous avons considéré que la combustion était complétée ,pour l'assurer, les bruleurs provoquent un mélange intime de l'air et du combustible.

Réaction de combustion :

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



Les réactions qui peuvent avoir lieu sont :



Ces réactions permettent de déterminer la quantité d'oxygène , et donc d'air nécessaire à la combustion ainsi que la quantité des fumées formées lors de la combustion.

Calcul le rendement des fours de la chaine de fabrication des huiles bases :

Pour mieux expliquer la méthode de calcul , nous allons citer par exemple le calcul donnant le rendement des four de cette zone qui comporte plusieurs calculs intermédiaires : La formule de calcul de rendement est exprimée comme suit :

$$\eta = \left(\frac{Q_T - (Q_1 + Q_2)}{Q_T} \right) * 100$$

Avec :

Q_1 : pertes de chaleur à travers le garnissage réfractaires.

Q_2 : Pertes de la chaleur par les fumées.

Q_T : La quantité de chaleur totale libérée

Avec $Q_T = \Sigma(Q_L + Q_{S \cdot AIR} + Q_{S \cdot fg})$

Q_L : La quantité de chaleur libérée par le fuel gaz ou bien PCI

Q_{Air} : La chaleur sensible de l'aire à l'entrée du four.

$Q_{S \text{ fumées}}$: La chaleur sensible du fuel gaz à l'entrée du four

Calcul du pouvoir calorifique inférieur (PCI) du gaz combustible (fuel gaz) :

Comme les fumées sortent à une température supérieure au point de condensation de la vapeur d'eau , on considère pour les calculs, en particulier pour le rendement du four uniquement le pouvoir calorifique inférieur (PCI).

$$PCI = \left(\frac{\sum (PCI_i * Y_i)}{100} \right)$$

PCI_i : pouvoir calorifique inférieur des différents constituants du gaz combustible.

Y_i : pourcentage molaire des différents constituants

Tableau IV.2 calcul du pouvoir calorifique inférieur du fuel gaz

constituants	Y _i (%)	PCI _i (kcal/Nm ³)	PCI=(PCI _i *Y _i)/100 (kcal/Nm ³)
H ₂	23.18	2580	598.0440
CH ₄	67.00	8550	5728.5000
C ₂ H ₆	6.18	15220	940.5960
C ₃ H ₈	2.48	21800	540.6400
i-C ₄ H ₁₀	0.43	28340	121.8620
n-C ₄ H ₁₀	0.53	28340	150.2020
i-C ₅ H ₁₂	0.06	34890	20.9340
n-C ₅ H ₁₂	0.06	34890	20.9340
C ₆ H ₁₄ et +	0.555	41090	228.0495
Total	100	/	8349.7617

Donc le pouvoir calorifique inférieur du fuel gaz est égale à 8349.7617kcal/Nm³

Calcul des pertes des chaleur (Q_i) est déterminée comme suit :

La déperdition de chaleur est déterminée comme suit :

$$Q_1 = \dot{a} * \frac{V_{fuel}}{1000} \quad \text{Avec } \dot{a} = (0.01 + 0.03)$$

0.01 et 0.03 sont des constants caractérisant le garnissage réfractaire .

La masse volumique du combustible ρ_{fuel} est calculée comme suit :

$$\rho_{fuel} = \left(\frac{\sum (M_i * Y_i)}{100} \right)$$

M_i : Masse molaire des différents constituants du gaz combustible (kg /kmoles)

Y_i :pourcentage molaire des différents constituants du gaz combustibles .

REMARQUE :

Une mole occupe 22.4 L dans les conditions normales de pression et température

Tableau IV.3 Calcul de masse volumique de fuel gaz

constituants	Yi(%)	M _i (kg/Nm ³)	M _i *Y _i (kg/Nm ³)
H ₂	23.18	2	46.3600
CH ₄	67.00	16	1072.0000
C ₂ H ₆	6.18	30	185.400
C ₃ H ₈	2.48	44	109.1200
i-C ₄ H ₁₀	0.43	58	24.9400
n-C ₄ H ₁₀	0.53	58	30.7400
i-C ₅ H ₁₂	0.06	72	04.3200
n-C ₅ H ₁₂	0.06	72	04.3200
C ₆ H ₁₄ et +	0.555	86	47.7300
Total	100		1524.9300

$$\rho_{\text{fuel gaz}} = \frac{\sum M_i \cdot Y_i}{\sum Y_i}$$

$$\rho_{\text{fuel gaz}} = 0.6808 \text{ KG/Nm}^3 \quad \text{donc } Q_1 = \frac{(\rho_{\text{fuel gaz}} + \rho_{\text{fumées}}) \cdot 8349.761}{\rho_{\text{fumées}}}$$

$$Q_1 = 490.5852 \text{ kcal/kg } N_F$$

Calcul des pertes de chaleur par les fumées Q₂

$$Q_2 = G_{\text{fumée}} \cdot C_p \text{ fumée} \cdot T_{\text{fumée}}$$

Avec :

G_F débit des fumées pour 1m³ de gaz brûlé

T_F : température des fumées

Le débit des fumées G_{fumée} est calculé comme suit :

$$G_f = \left(\frac{\rho_{\text{fuel gaz}}}{100} \right) \cdot \left(\frac{\rho_{\text{fumées}}}{\rho_{\text{air}}} \right)$$

ρ_{fuel gaz} : Masse volumique du gaz combustible .

ρ_{fumées} : masse volumique des fumées

N_f : c'est le nombre de kmole total dans les fumées .

Calcul le nombre de kmole total dans les fumées (N_f) :

Soit X la quantité d'oxygène dans les fumées en kmole

Tableau IV.4 -Composition Des Fumées

On prend un base de calcul de 100 kmole de fuel gaz

Composition	Vol%	Réaction chimique de combustion	O ₂ consommé	Produit de combustible	
				Co2	H2o
H ₂	23.18	H ₂ + 1/2O ₂ → H ₂ O	11.59	--	23.18
C ₁	67.00	CH ₄ +2 O ₂ → CO ₂ +2 H ₂ O	134.00	67.00	134
C ₂	6.18	C ₂ H ₆ + 7/2 O ₂ → 2CO ₂ +3 H ₂ O	21.63	12.36	18.54
C ₃	2.48	C ₃ H ₈ +5 O ₂ → 3C O ₂ +4 H ₂ O	12.40	7.44	09.24
I + nC ₄	0.96	C ₄ H ₁₀ +13/2 O ₂ → 4CO ₂ +5 H ₂ O	06.24	03.84	04.80
I + nC ₅	0.12	C ₅ H ₁₂ +8 O ₂ → 5CO ₂ +6 H ₂ O	0.96	0.60	0.72
C ₆	0.08	C ₆ H ₁₄ +19/2 O ₂ → 6CO ₂ + 7 H ₂ O	0.76	0.48	0.56
Total	100.0		187.58	91.72	191.72

Si on désigne par x la quantité d'oxygène dans les fumées (en kmoles).

La quantité totale de O₂ = O₂ consommé + O₂ dans les fumées

$$O_2 = 187.58 + x$$

Le comburant c'est l'air dont la composition la plus fréquemment admise dans les calculs :

Oxygène O₂ 21%

Inerts N₂ 79%

Donc le rapport (inertes/oxygène) dans l'atmosphère = 79/21 = 3.76

Débit des inertes = 705.65 Kmoles

Donc le débit des inertes = 3.76*(187.58+x) = 705.65 + 3.76 x

Tableau IV.5 La composition des fumées pour 100 Kmoles de fuel gaz brûlé

Composition	Kmole
CO ₂	91.72
H ₂ O	191.72
O ₂	X
Inertes	705.65 + 3.76 x
total	989.09 + 4.76 x

Le pourcentage d'oxygène dans les fumées est le rapport entre le nombre de Kmoles d'oxygène dans les fumées (X) sur le nombre Kmoles total N_f

$$\frac{\text{Kmoles.O}_2 \text{ dans les fumées}}{\text{total}} = O_2 \% \dots\dots\dots (*)$$

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □

Performance thermique du four de l'unité 21 :**Distillation sous vide (21F₁) :**

Le pourcentage d'oxygène des fumées du four 21F₁ est de 9.40 % (donné par l'analyse de fumées TESTO)

$$\% O_2 = \frac{\square}{\square f} = \frac{\square}{989.09 + 4.76} = 9.40\%$$

Donc X= 168.26 Kmoles

Tableau IV.6 La composition des fumées en % molaire sera :

Composition	Nombre de kmole	% molaire
CO ₂	91.72	5.12
H ₂ O	191.72	10.71
O ₂	168.26	9.40
Inertes	1338.3	74.77
Total	1790.00	100

Calcul de la masse volumique des fumées :

Soit par la formule suivant :

$$M_{\text{Fumées}} = [(Y_{\text{CO}_2} * M_{\text{CO}_2}) + (Y_{\text{O}_2} * M_{\text{O}_2}) + (Y_{\text{N}_2} * M_{\text{N}_2}) + (Y_{\text{H}_2\text{O}} * m_{\text{H}_2\text{O}})] / 100$$

$$M_{\text{Fumées}} = [(5.12 * 44) + (9.4 * 32) + (74.77 * 28) + (10.71 * 18)] / 100$$

$$M_{\text{fumées}} = \mathbf{28.12 \text{ KG/Kmoles}}$$

Ou bien :

Tableau IV.7 Calcul de la masse volumique des fumées :

Composition	Nombre de kmole	PM	Poids (kg)	% pds
CO ₂	91.72	44	4035.68	08.01
H ₂ O	191.72	18	3450.96	06.85
O ₂	168.26	32	5384.32	10.49
Inertes	1338.3	28	37472.40	74.45
Total	1790.00	/	50343.36	100

La masse volumique des fumées :

$$M_{\text{fumées}} = \frac{50343.36}{1790} = \mathbf{28.12 \text{ Kg/Kmoles}}$$

$$\square_{\text{fumées}} = \frac{28.12}{22.4} = \mathbf{1.25 \text{ Kg/Nm}^3}$$

Débit des fumées pour 1 m³ de gaz brûlé $G_f = \frac{1790}{100} = 17.9 \text{ m}^3$

$G_f = \left(\frac{1790}{100}\right) * (0.6808) = 32.8657 \text{ Kg/Kg fuel gaz}$

$G_f = 32.8657 \text{ Kg/Kg Fuel gaz}$

Donc le débit des fumées pour 1 Kg de gaz brûlé est égale à 32.8657 Kg c-à-d on à 32.8657 Kg de fumées pour 1 Kg de gaz brûlé le four 21F₁

Le débit de l'air dans les fumées pour 1 Kg de gaz brûlé est égale à 21 Kg

Calcul de la quantité de chaleur dégager par les fumées :

La température des fumées = 380 °C

$C_{p_{CO_2}} = 0.264$ $C_{p_{N_2}} = 0.260$ $C_{p_{O_2}} = 0.243$ $C_{p_{H_2O}} = 0.484$

(Les chaleurs spécifiques des différents constituants sont tirées des abaqués)

Calcul de la chaleur spécifique moyenne des fumées :

Tableau IV.8 Calcul de la quantité de chaleur dégager par les fumées :

Composition	% pds	Cp	Cp *% pds
CO ₂	08.01	0.264	0.0211
H ₂ O	06.85	0.484	0.0331
O ₂	10.49	0.243	0.0254
Inertes	74.45	0.260	0.193
Total	100	--	0.272

Donc le C_{p_moyen} est égale à : 0.272

$Q_2 = m_{fumées} * C_{p_{fumées}} * T_f = 33.90 * 0.272 * 380 = 3503.04$

Donc $Q_2 = 3503.04$

Calcul des quantité de chaleur :

La quantité de chaleur libérée par le fuel gaz :

Pour 1 Kg du fuel gaz la quantité de chaleur libérée par le fuel gaz est :

$Q_L = m * PCI = 1 \text{ Kg} * \frac{8349.7617}{0.6808} = 12264.6309 \text{ kcal}$

~~Donc la quantité de chaleur libérée par le fuel gaz égale 12264.6309 Kcal~~

La chaleur sensible de l'air à l'entrée du four :

Température ambiante : 20°C

$$Q_{S,AIR} = m_{air} * CP_{air} * T_{air} = 32 * 0.242 * 20 = 154.8 \text{ Kcal}$$

(La chaleur spécifique de l'air est tirée des abaques de chaleur spécifique)

La chaleur sensible de l'air à l'entrée du four

Température du fuel gaz = 25 °C

$$Q_{s,fg} = m_{fg} * CP_{fg} * T_{fg} = 1 * 0.52 * 25 = 13 \text{ Kcal}$$

(La chaleur spécifique de fuel gaz est tirée des abaques de chaleur spécifique)

Donc la quantité de chaleur total libérée sera :

$$Q_T = Q_1 + Q_{S,AIR} + Q_{S \text{ fuel gaz}} = 12264.6309 + 154.8 + 13 = 12432.5107 \text{ Kcal}$$

$$Q_T = 12432.5107 \text{ Kcal}$$

$$\text{On a : } \eta = \frac{\square\square - (\square 1 + \square 2)}{\square\square} * 100$$

$$\eta = \frac{12432.5107 - (490.5852 + 3503.04)}{12432.5107} * 100$$

$$\eta_{21F1} = 67.88 \%$$

Tableau récapitulatif des compositions des fumées

Le tableau IV.8 indique la composition et la quantité obtenue des fumées ainsi que la quantité théorique d'oxygène nécessaire pour la combustion, sur la base de 100 Kmoles de gaz combustible.

Performance thermique du four de l'unité 22 :

Désalphaltage au propane : (22F₁)

Analyseur en ligne du pourcentage de l'oxygène du four 21F₁ a donné la valeur suivante

% O₂ dans les fumées = 5.12%

Température des fumées est 520°C

Tableau IV.9 : composition des fumées de l'unité 22 : désasphaltage au propane

Constituants du combustibles	Pourcentages Volumiques (molaire)	O ₂ de la combustions (k.moles)	Composition des fumées				Constituants du combustible
			CO ₂	H ₂ O	O ₂	Inerte	
H ₂	23.18	11.59	00.00	23.18	-		H ₂
C ₁	67.00	134.00	67.00	134.00	-	-	C ₁
C ₂	06.18	21.63	12.36	18.54	-	-	C ₂
C ₃	02.48	12.40	07.44	09.24	-	-	C ₃
I + nC ₄	00.96	06.24	03.84	04.80	-	-	I + nC ₄
I +nC ₅	00.12	00.96	00.60	00.72	-	-	I +nC ₅
C ₆	00.08	00.76	0.48	00.56	-	-	C ₆
TOTAL	100.00	187.58	91.72	191.72	66.96	957.41	Air de combustion
O₂ dans l'excès d'air		66.96	91.72	191.72	66.96	975.41	TOTAL
O₂ dans l'air de combustions		254.54	07.02	14.65	05.12	73.22	%molaire
N₂ dans l'air de combustion		957.41	11.04	09.47	05.88	73.58	%poids
Q₂ pertes de chaleur par les fumées (kcal/kg fumées)		3721.76	0.278	0.516	0.251	0.268	C_p= 0.2913 (kcal/kg°C)
Q₂ pertes de chaleur totale libérée : (kcal)		12478.57	110.15			Q_{S,AIR} :chaleur sensible de l'air	
Température des fumées(°c)		520	24.57			G_f Quantité des fumées kg/kg fuel gas	
Nombres de kmole d'air de combustion pour 100 kmoles de gaz combustible		1211.95	1307.81			Nombre de kmoles de fumées pour 100 kmoles de gas combustible	

$$\eta = \frac{12478.57 - (494.217 + 3721.56)}{12478.57} * 100 = 66.21 \%$$

$$\eta_{22F_1} = 66.21 \%$$

Fours de l'unité extraction au furfural :

Performance thermique du four de l'unité 23 : extraction au furfural (23F₁)

a) FOUR 23F₁

% O₂ dans les fumées= 5.29 % Température des fumées est 310°C

Tableau IV.10 composition des fumées

Constituants du combustibles	Pourcentages Volumiques (molaire)	O ₂ de la combustions (k.moles)	Composition des fumées				Constituants du combustible
			CO ₂	H ₂ O	O ₂	Inerte	
H ₂	23.18	11.59	00.00	23.18	-		H ₂
C ₁	67.00	134.00	67.00	134.00	-	-	C ₁
C ₂	06.18	21.63	12.36	18.54	-	-	C ₂
C ₃	02.48	12.40	07.44	09.24	-	-	C ₃
I + nC ₄	00.96	06.24	03.84	04.80	-	-	I + nC ₄
I +nC ₅	00.12	00.96	00.60	00.72	-	-	I +nC ₅
C ₆	00.08	00.76	0.48	00.56	-	-	C ₆
TOTAL	100.00	187.58	91.72	191.72	69.93	968.58	Air de combustion
O₂ dans l'excès d'air		69.93	91.72	191.72	69.93	968.58	TOTAL
O₂ dans l'air de combustions		257.51	06.94	14.50	0.5.29	73.27	%molaire
N₂ dans l'air de combustion		968.58	10.96	09.32	06.07	73.61	%poids
Q₂ pertes de chaleur par les fumées (kcal/kg fumées)		211675	0.255	0.480	0.238	0.256	C_p= 0.2756 (kcal/kg°C)
Q₂ pertes de chaleur totale libérée : (kcal)		12479.88	111.46			Q_{S,AIR} :chaleur sensible de l'air	
Température des fumées(°c)		310	24.83			G_f Quantité des fumées kg/kg fuel gas	
Nombres de kmole d'air de combustion pour 100 kmoles de gaz combustible		1226.09	1321.95			Nombre de kmoles de fumées pour 100 kmoles de gaz combustible	

$$\eta_{23F1} = \frac{12479.88 - (494.217 + 2116.75)}{12479.88} * 100 = 79.07 \%$$

$\eta_{23F1} = 79.07 \%$

b) Four 23F₂

O₂ dans les fumées = 6.8 %

température : 280 °c

Tableau IV.11 : composition des fumées

Constituants du combustibles	Pourcentages Volumiques (molaire)	O ₂ de la combustions (k.moles)	Composition des fumées				Constituants du combustibles
			CO ₂	H ₂ O	O ₂	Inerte	
H ₂	23.18	11.59	00.00	23.18	-		H ₂
C ₁	67.00	134.00	67.00	134.00	-	-	C ₁
C ₂	06.18	21.63	12.36	18.54	-	-	C ₂
C ₃	02.48	12.40	07.44	09.24	-	-	C ₃
I + nC ₄	00.96	06.24	03.84	04.80	-	-	I + nC ₄
I + nC ₅	00.12	00.96	00.60	00.72	-	-	I + nC ₅
C ₆	00.08	00.76	0.48	00.56	-	-	C ₆
TOTAL	100.00	187.58	91.72	191.72	99.44	1079.24	Air de combustion
O₂ dans l'excès d'air		99.44	91.72	191.72	99.44	1079.24	TOTAL
O₂ dans l'air de combustions		287.02	06.27	13.11	6.80	73.82	%molaire
N₂ dans l'air de combustion		1079.24	09.87	08.43	07.78	73.92	%poids
Q₂ pertes de chaleur par les fumées (kcal/kg fumées)		2076.73	0.250	0.477	0.236	0.254	Cp= 0.270 (kcal/kg°c)
Q₂ pertes de chaleur totale libérée : (kcal)		12492.66	124.24			Q_{S,AIR} :chaleur sensible de l'air	
Température des fumées(°c)		280	27.47			G_f Quantité des fumées kg/kg fuel gas	
Nombres de kmole d'air de combustion pour 100 kmoles de gaz combustible		1366.26	1462.24			Nombre de kmoles de fumées pour 100 kmoles de gaz combustible	

$$\eta_{23F2} = \frac{12492.66 - (494.217 + 2076.73)}{12492.66} * 100 = 79.42\%$$

$$\eta_{23F2} = 79.42\%$$

Performance thermique du four de l'unité 24 déparaffinage au MEC/TOLUENE (24F1) :

a) Four 24F1

O₂ dans les fumées = 5.33 %

température 370°C

Tableau IV.12 : composition des fumées

Constituants du combustibles	Pourcentages Volumiques (molaire)	O ₂ de la combustions (k.moles)	Composition des fumées				Constituants du combustible
			CO ₂	H ₂ O	O ₂	Inerte	
H ₂	23.18	11.59	00.00	23.18	-	-	H ₂
C ₁	67.00	134.00	67.00	134.00	-	-	C ₁
C ₂	06.18	21.63	12.36	18.54	-	-	C ₂
C ₃	02.48	12.40	07.44	09.24	-	-	C ₃
I + nC ₄	00.96	06.24	03.84	04.80	-	-	I + nC ₄
I + nC ₅	00.12	00.96	00.60	00.72	-	-	I + nC ₅
C ₆	00.08	00.76	0.48	00.56	-	-	C ₆
TOTAL	100.00	187.58	91.72	191.72	70.64	971.25	Air de combustion
O₂ dans l'excès d'air		70.64	91.72	191.72	70.64	971.25	TOTAL
O₂ dans l'air de combustions		258.22	6.92	14.46	5.33	73.29	%molaire
N₂ dans l'air de combustion		971.25	10.92	09.34	06.13	73.61	%poids
Q₂ pertes de chaleur par les fumées (kcal/kg fumées)		2570.42	0.262	0.490	0.242	0.259	C_p= 0.2756 (kcal/kg°C)
Q₂ pertes de chaleur totale libérée : (kcal)		12480.22	111.80			Q_{S,AIR} :chaleur sensible de l'air	
Température des fumées(°c)		370	24.90			G_f Quantité des fumées kg/kg fuel gas	
Nombres de kmole d'air de combustion pour 100 kmoles de gaz combustible		1229.47	1325.33			Nombre de kmoles de fumées pour 100 kmoles de gas combustible	

$$\eta_{24F1} = \frac{12480.22 - (494.21702570.42)}{12480.22} * 100$$

$$\eta = 75.44\%$$

b) FOUR 24F₂

%O₂ dans les fumées = 6.53%

température des fumées est 320

Tableau IV.13 : Composition des fumées

Constituants du combustibles	Pourcentages Volumiques (molaire)	O ₂ de la combustions (k.moles)	Composition des fumées				Constituants du combustible
			CO ₂	H ₂ O	O ₂	Inerte	
H ₂	23.18	11.59	00.00	23.18	-		H ₂
C ₁	67.00	134.00	67.00	134.00	-	-	C ₁
C ₂	06.18	21.63	12.36	18.54	-	-	C ₂
C ₃	02.48	12.40	07.44	09.24	-	-	C ₃
I + nC ₄	00.96	06.24	03.84	04.80	-	-	I + nC ₄
I + nC ₅	00.12	00.96	00.60	00.72	-	-	I + nC ₅
C ₆	00.08	00.76	0.48	00.56	-	-	C ₆
TOTAL	100.00	187.58	91.72	191.72	70.64	971.25	Air de combustion
O₂ dans l'excès d'air		93.71	91.72	191.72	93.71	1058	TOTAL
O₂ dans l'air de combustions		281.29	6.39	13.36	06.53	73.72	%molaire
N₂ dans l'air de combustion		1058	10.06	08.61	07.47	73.86	%poids
Q₂ pertes de chaleur par les fumées (kcal/kg fumées)		2362.42	0.256	0.480	0.239	0.256	C_p = 0.273 (kcal/kg°C)
Q₂ pertes de chaleur totale libérée : (kcal)		12490.19	121.77			Q_{S,AIR} : chaleur sensible de l'air	
Température des fumées(°c)		320	26.96			G_f Quantité des fumées kg/kg fuel gas	
Nombres de kmole d'air de combustion pour 100 kmoles de gaz combustible		1339.29	1435.15			Nombre de kmoles de fumées pour 100 kmoles de gaz combustible	

$$\eta_{24F_2} = \frac{12490.19 - (494.217 + 236.42)}{12490.19} * 100 = 77.12\%$$

$$\eta_{23F_2} = 77.12\%$$

Performance thermique du four de l'unité 25 hydrofinishing (25F1) :

a) Four 25F₁

% O₂ dans les fumées = 5.19% température des fumées 380°C

Tableau IV.14 : Composition des fumées

Constituants du combustible	Pourcentages Volumiques (molaire)	O ₂ de la combustions (k.moles)	Composition des fumées				Constituants du combustible
			CO ₂	H ₂ O	O ₂	Inerte	
H ₂	23.18	11.59	00.00	23.18	-	-	H ₂
C ₁	67.00	134.00	67.00	134.00	-	-	C ₁
C ₂	06.18	21.63	12.36	18.54	-	-	C ₂
C ₃	02.48	12.40	07.44	09.24	-	-	C ₃
I + nC ₄	00.96	06.24	03.84	04.80	-	-	I + nC ₄
I + nC ₅	00.12	00.96	00.60	00.72	-	-	I + nC ₅
C ₆	00.08	00.76	0.48	00.56	-	-	C ₆
TOTAL	100.00	187.58	91.72	191.72	70.64	971.25	Air de combustion
O₂ dans l'excès d'air		68.17	91.72	191.72	68.17	961.97	TOTAL
O₂ dans l'air de combustions		255.76	06.99	14.59	5.19	73.23	%molaire
N₂ dans l'air de combustion		961.97	11.03	09.43	05.96	73.58	%poids
Q₂ pertes de chaleur par les fumées (kcal/kg fumées)		2587.39	0.256	0.480	0.239	0.256	C_p = 0.2756 (kcal/kg°C)
Q₂ pertes de chaleur totale libérée : (kcal)		12479.15	110.73			Q_{S,AIR} : chaleur sensible de l'air	
Température des fumées(°C)		380	24.67			G_f Quantité des fumées kg/kg fuel gas	
Nombres de kmole d'air de combustion pour 100 kmoles de gaz combustible		1217.72	1313.58			Nombre de kmoles de fumées pour 100 kmoles de gaz combustible	

$$\eta = \frac{12479.15 - (494.217 + 2587.39)}{12479.15} * 100 = 75.31\%$$

$$\eta_{25F_1} = 75.31\%$$

Tableau IV.15 : résultats des calculs réel des four de la zone 07

	Zone 07						
	21F ₁	22F ₁	23F ₁	23F ₂	24F ₁	24F ₂	25F ₁
Q _{in} (Nm ³ /hr)	560	139	110	525	330	173	65
%O ₂ dans les fumées	09.40	05.12	05.29	06.80	05.33	06.53	05.19
T _f (°C)	380	520	310	280	370	320	380
Excess of air ()	89.64	35.67	37.26	52.98	37.63	49.93	36.32
Q ₂ $\frac{\square\square\square\square}{\square\square\square\square\square\square}$	3503.90	3721.76	2116.75	2076.73	2570.42	2362.42	2587.39
η _{Réel} %	68.08	66.21	79.07	79.42	75.44	77.12	75.31

Le four **21F₁** consomme une quantité important de fuel gaz afin de chauffer le brut réduit atmosphérique.

Les fours des unités de la chaine de fabrication des huiles de bases possèdent rendement variant entre **70%** et **79%** à l'exception des fours **21F₁** et **22F₁** qui possèdent des rendement inferieur 68.07 % et 66.21% respectivement, et cela est dû aux quantités importantes des perte de chaleur.

Par contre les faible quantité des pertes de chaleur et d'excès d'aire dans les fours **23F₁**,**23F₂**,**24F₁**,**24F₂** et **25F₁** , mènent à l'obtention des rendements élevés comprises entre **75%** et **79%**

IV.2 Le calcul cas design

Le calcul cas design est réalisé afin de pouvoir faire une comparaison entre celui-ci et le cas réel dans le but de vérifier l'état de fonctionnement des fours.

Ce dernier s'effectue de la même manière que celui du réel.

Etude du cas design :

dans le calcul design, nous avons pris :

- Des températures réelles parce que nous n'avons pas pu les avoir en design.
- Des excès d'air design qui sont de 20 % pour tous les fours.
- Des débits de gaz design donnés par les manuelles de la raffinerie.

La composition design de fuel gaz utilisé dans le calcul design est la suivante :

Tableau IV.16 Composition design du fuel gaz

Composition	Pourcentage molaire
H₂	64.09
CH₄	19.06
C₂H₆	14.42
C₃H₈	1.79
I + nC₄H₁₀	0.24
I + nC₄H₁₀	0.19
I + nC₅H₁₂	0.04
I + nC₅H₁₂	0.02
TOTAL	0.15

Après le calcul design on a trouvé les résultats suivants :

$$\rho_{\text{com}} = 0.44 \text{ kg/Nm}^3$$

$$\text{PCI} = 6072.52 \text{ kcal/ Nm}^3 = 13801.18 \text{ kcal /kg}$$

$$Q_i = 552.04 \text{ kcal/ kg}$$

Le tableau suivant indique les résultats du calcul du four de l'unité :Distillation sous vide (21F1) :

% O₂ + 03.20% pour un excès d'air égal 20%

Tableau IV.17 : composition des fumées du four 21F₁

Constituants du combustibles	Pourcentages Volumiques (molaire)	O ₂ de la combustions (k.moles)	Composition des fumées				Constituants du combustible
			CO ₂	H ₂ O	O ₂	Inerte	
H ₂	64.09	32.045	--	64.09	-		H ₂
C ₁	19.06	38.12	19.06	38.12	-	-	C ₁
C ₂	14.42	50.47	28.84	43.26	-	-	C ₂
C ₃	1.79	08.95	05.37	07.16	-	-	C ₃
I + nC ₄	0.43	02.795	01.72	02.15	-	-	I + nC ₄
I + nC ₅	0.06	00.48	00.30	00.36	-	-	I + nC ₅
C ₆	0.15	01.42	00.90	01.05	-	-	C ₆
TOTAL	100.00	134.28	56.19	156.19	27.08	607	Air de combustion
O ₂ dans l'excès d'air		27.08	56.19	156.19	27.08	907	TOTAL
O ₂ dans l'air de combustions		161.36	06.64	18.45	03.20	71.71	%molaire
N ₂ dans l'air de combustion		607	10.68	12.15	03.74	73.43	%poids
Q ₂ pertes de chaleur par les fumées (kcal/kg fumées)		2461.53	0.272	1.500	0.247	0.264	C_p = 0.2756 (kcal/kg°C)
Q ₂ pertes de chaleur totale libérée : (kcal)		1391.28	103.1			Q_{S,AIR} : chaleur sensible de l'air	
Température des fumées(°c)		380	23.47			G_f Quantité des fumées kg/kg fuel gas	
Nombres de kmole d'air de combustion pour 100 kmoles de gaz combustible		768.36	846.45			Nombre de kmoles de fumées pour 100 kmoles de gas combustible	

$$\eta = \frac{13917.28 - (552.04 + 2461.53)}{13917.28} * 100 = 78.34$$

$$\eta_{25F1} = 78.34 \%$$

Tableau IV.18 résultats des calculs design des four de la zone 07

	Zone 07						
	21F ₁	22F ₁	23F ₁	23F ₂	24F ₁	24F ₂	25F ₁
Q_{in}(Nm³/hr)	805	100	96	490	550	200	51
%O₂ dans les fumées	03.20						
T_f(°C)	380	520	310	280	370	320	380
Excess of air ()	20						
Q₂ $\frac{\square\square\square\square}{\square\square\square\square\square\square}$	2461.53	3636.91	2404.1	1836.1	2489.67	2117.93	2559.63
η%	78.34	69.90	81.29	82.84	78.81	80.81	77.64

Comparaison entre le cas réel et le cas désigné :

Tableau IV.19 : Comparaison entre le ca réel et le cas désigné du zone 07 :

Zone 7					
Fours		Q(Nm ³ /hr)	e (%)	Q ₂ (kcal/kg)	η%
Réel	21F1	580	89.64	3721.76	68.08
	22F1	139	35.67	3721.76	66.21
	23F1	120	37.26	2116.75	79.07
	23F2	585	52.98	2076.73	79.42
	24F1	380	37.63	2570.42	75.44
	24F2	210	49.93	2362.42	77.12
	25F1	88	36.32	2587.39	75.31
design	21F1	705	20	2461.53	78.34
	22F1	118	20	3636.91	69.90
	23F1	96.2	20	2404.1	81.29
	23F2	600	20	1836.1	82.84
	24F1	374	20	2489.67	78.4
	24F2	187	20	2117.93	80.81
	25F1	51	20	2559.63	77.64

Les rendement design dans tous les fours sont plus élevés que ceux réel grâce aux excès d'air design qui sont de 20%

Conclusion générale

Conclusion

Notre travail a porté sur la vérification des performances des fours de la chaîne de production des huiles de la zone 07 .En établissant un calcul de vérification du rendement actuel du four, il sera montré que le rendement thermique actuel du four est inférieur au rendement du design défini par le constructeur . Cette chute du rendement est affectée en partie par le dépôt de coke qui est localisé au niveau de la zone de radiation .

En guise de conclusion, on peut souligner que le rendement design dans tous les fours sont plus élevés que ceux du réel grâce aux excès d'air design qui sont de 20%

La présente étude permet de conclure que ces variations sont dues à plusieurs facteurs tels que l'état de vieillissement de certains équipements, la formation du coke à l'intérieur des tubes (bouchage), l'excès d'air , ainsi que la quantité de perte de chaleur élevée

Conclusion

Bibliographie

[1] J. P. Wauquier, Le Raffinage du Pétrole- Pétrole brut- Produits pétroliers- Schémas de fabrication, Tome I, Editions Technip, Paris, 1994

[2] Pierre Wuithier, Raffinage et génie chimique, Tome 1
Publication de l'institut française du pétrole 1972.Edition TECHNIP

[3] J. P. Wauquier, Le Raffinage du Pétrole-Procédés de Séparation, Tome II, Editions Technip, Paris, 1998

[4] Documents techniques de la raffinerie D'Arzew

[5] Manuel opérations sur les procédés de fabrication des huiles de base au niveau de la raffinerie d'Arzew

[6] Cours équipements thermiques de Mr MIMOUN, FHC, UMBB

[7] Brochure : calcul des fours tubulaires, INH, 1975.