

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministre de l'enseignement Supérieure et de la recherche scientifique

Université A.MIRA Bejaia

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés



Mémoire de fin de cycle
Pour l'obtention du diplôme de master
Filière : Génie des Procédés
Option : Génie Chimique

Présenté par :
BARACHE Kenza
CHATOUR Celina

Thème

Analyses physico-chimiques du reformat issu de
l'unité de reformage catalytique en continu (CCR)
de la raffinerie d'Alger

Soutenue le 04/07/2023

devant le jury composé de :

Nom et prénom	Grade		
M ^{me} Touati	MCB	Université de Bejaia	Examinatrice
Dr Zembouai Idris	MCA	Université de Bejaia	Président
Pr. Kaci Mustapha	Professeur	Université de Bejaïa	Encadrant
M ^{me} Zaidi Lynda	MCB	Université de Bejaïa	Co Encadrant
Mr Boudahdir Hamza	Ingénieur	Raffinerie d'Alger	Co Encadrant

2022 /2023

Remerciements

Après un long labeur, des efforts, des encouragements et des sacrifices, vient enfin l'ultime consécration de notre travail à travers ce mémoire de fin d'étude.

Nous ne pouvons donc nous réjouir d'un tel exploit sans omettre d'avoir une pensée de reconnaissance envers tous les enseignants qui nous ont permis d'arriver à ce stade et plus particulièrement ceux du cycle supérieur et de leur rendre un grand hommage et les remercier.

Nous tenons aussi à présenter nos remerciements et notre Gratitude à Mr. Professeur KACI Mustapha et Mme. ZAIDI Lynda qui nous ont encadrés et prodigués des conseils, orientations et d'être pour nous accompagner tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Mr. BOUDAHDIR Hamza, qui nous a orienter au sein de la raffinerie d'Alger, pour sa disponibilité et son aide qu'il nous a apporté pour nous transmettre toutes les informations dont nous avons besoins pour l'accomplissement de ce mémoire.

A Messieurs les membres de jury, pour leur engagement, leur expertise et leur précieuse contribution à l'évaluation de ce travail.



-B. Kenza & C. Celina-

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents,

Sources de vie, d'amour, d'affection et de bienveillance, qui m'ont toujours soutenu, encouragé chaleureusement durant toute ma vie et tout au long de mon parcours. Je tiens donc à les remercier et à leur exprimer mon amour profond et mes immenses gratitudes.

A mes frères : Takfarinas et Amyes

A ma chère cousine et cousin : Malika & Idir

Qui ont toujours été à mes côtés pour me soutenir dans toutes mes démarches.

A toute ma famille,

Mes oncles, mes tantes, mes cousins.

A tous mes proches,

A ma meilleure amie : Katia

Qui m'a toujours soutenu et souhaité plus de succès.

Et en fin Ma binôme Celina

A toutes les personnes que j'aime



B.Kenza

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents,

Sources de vie, d'amour, d'affection et de bienveillance, qui m'ont toujours soutenu, encouragé chaleureusement durant toute ma vie et tout au long de mon parcours. Je tiens donc à les remercier et à leur exprimer mon amour profond et mes immenses gratitudes.

A mes frères et sœurs,

Qui ont toujours été à mes côtés pour me soutenir dans toutes mes démarches.

A toute ma famille,

Mon oncle, mes tantes.

A Ma très chère cousine Sofia

A tous mes proches,

Mes amies : Zahra, Zahia, Salima, Titi, qui m'ont toujours soutenu et souhaité plus de succès.

Et en fin Ma binôme Kenza

A toutes les personnes que j'aime

C. Celina



SOMMAIRE

Liste d'abréviations

Liste des Figures

Liste des tableaux

Introduction 1

CHAPITRE I : Présentation de la raffinerie d'Alger

I.1 Historique de la raffinerie d'Alger.....2

I.2 Derniers développement de la raffinerie.....3

I.3 Capacité de production.....3

I.4 Unités principales de la raffinerie RA1G.....4

I.4.1 Unité de distillation atmosphérique (unité 100).....4

I.4.2 Unité de séparation des gaz-liquéfiés (Unité 300).....4

I.4.3 Unité de craquage catalytique RFCC (unité 530).....5

I.4.4 Section Sulfure BLOC.....5

I.4.5 Utilités.....5

I.4.6 Parc de stockage.....6

I.4.7 Laboratoire.....6

I.4.8 Salle de contrôle.....6

I.4.9 Unité MS-BLOCK.....7

I.4.9.1 Unité d'hydrotraitement NHT (U-500).....7

I.4.9.2 Unité d'isomérisation des naphtas (U-510)7

I.4.9.3 Unité de reforming CCR (U-520).....7

CHAPITRE II : Reformage catalytique en continu

II.1 Pétrole brut.....9

II.1.1 Définition9

II.1.2 composition du pétrole brut9

II.1.3 le pétrole algérien	10
II.1.4 Caractéristiques du pétrole algérien	10
II.2 Raffinage du pétrole.....	10
II.2.1 Définition.....	10
II.2.2 Différents procédés de raffinage du pétrole.....	11
II.2.2.1 Procédés de séparation	11
II.2.2.2 Procédés de conversion.....	13
II.2.2.3 Procédés d'amélioration.....	14
II.2.3 Produits pétroliers.....	14
II.2.4 Indice d'octane.....	15
II.2.5 Naphta.....	16
II.2.5.1 Définition.....	16
II.2.5.2 Types de naphtas.....	16
II.2.5.3. Obtention du naphta à partir de la distillation.....	16
II.2.5.4 Utilisation du naphta.....	17
II.2.5.5 Caractéristiques des naphtas.....	17
II.2.6 Le procédé d'hydrotraitement du naphta (NHT).....	18
II.2.6.1 Définition.....	18
II.2.6.2 Objectif du procédé	19
II.2.7 Le procédé de reformage catalytique (CCR).....	19
II.2.7.1 Définition.....	19
II.2.7.2 Principe.....	19
II.2.7.3 Objectif.....	20
II.2.7.4 Types de Reformage catalytique.....	20
II.2.7.5 Contraintes techniques et économiques du procédé de reformage.....	21
II.2.7.6 Réactions mises en jeu.....	22

II.2.7.6.1 Réactions souhaitées	22
II.2.7.6.2 Réactions non souhaités	25
II.2.7.7 Variables opératoires.....	27
II.2.7.7.1 Température.....	27
II.2.7.7.2 Pression	27
II.2.7.7.3 Le Ratio H ₂ /HC.....	27
II.2.8 Fonctionnement du CCR.....	28
II.2.8.1 Section réactionnelle	28
II.2.8.1.1 Section de réaction.....	28
II.2.8.1.2 Section compression et absorbeur.....	29
II.2.8.1.3 Sections de récupération GPL et stabilisateur.....	29
II.2.8.2 Section régénération	30
II.2.8.2.1 Régénérateur	30
II.2.8.2.2 Boucle de régénération.....	33
II.2.8.2.3 Contrôle de la circulation du catalyseur	34
II.2.9 Equipements du procédé.....	34
II.2.9.1 Echangeur de chaleur « PACKINOX » (E-001)	34
II.2.9.2 Fours.....	35
II.2.9.3 Réacteurs	36
II.2.9.4 Compresseur de recyclage (K-001).....	37
II.2.9.5 Compresseurs de gaz riche en H ₂ (k-002 A/B).....	37
II.2.9.6 Adsorbeur de chlorure de gaz riche en H ₂ (D-006-A/B).....	38
II.2.9.7 Stabilisateur (C-001).....	38
II.2.9.8 Adsorbeur de chlorure de la charge du stabilisateur (D-007- A/B).....	38
II.2.9.9 Réchauffeur du stabilisateur (F-005).....	38
II.2.9.10 Réchauffeurs électriques.....	39
II.2.9.11 Régénérateur (R-051).....	39
II.2.9.12 Compresseurs de boucle de régénération (K-052 A/B).....	40
II.2.9.13 Unité de purification de H ₂ (M-053).....	40
II.2.9.14 Trémie verrouillable (D-052).....	40

II.2.9.15 Chambre du réduction (D-061).....	40
II.2.9.16 Trémies supérieures (D-055/062/063/064).....	40
II.2.9.17 Trémies inférieures (D-053/ 071/ 072/ 073/ 074) et POTS DE LIFT (D- 054/ 081/ 082/ 083/ 084).....	41
II.2.10 Catalyseur.....	41
II.2.10.1. Définition.....	41
II.2.10.2. Catalyseur du reformage catalytique (CCR).....	41
II.2.10.3. Activité, Sélectivité, Stabilité.....	42
II.2.10.4. Caractéristique du catalyseur	42
II.2.10.5. Mécanisme du catalyseur.....	43
II.2.10.5.1 Fonction acide.....	43
II.2.10.5.2 Fonction métallique	44
II.2.10.6 Contaminants du catalyseur.....	44

CHAPITRE III : Protocole expérimental et discussion des résultats

III.1 Prélèvements des échantillons	46
III.2 Techniques d'analyses physico-chimiques.....	46
III.2.1 Spectroscopie infrarouge (IR)	46
III.2.1.1 Définition.....	46
III.2.1.2 Principe	46
III.2.1.3 But de travail.....	46
III.2.1.4 Matériels et produits utilisés.....	47
III.2.1.5 Mode opératoire	48
III.2.2 Distillation ASTM	48
III.2.2.1 Définition.....	48
III.2.2.2 Principe	48
III.2.2.3 Mode opératoire	49
III.2.3 Densité	50
III.2.3.1 Définition	50

III.2.3.2 Principe	50
III.2.3.3 Mode opératoire	50
III.2.4 La TVR	51
III.2.4.1 Définition	51
III.2.4.2 Principe.....	51
III.2.4.3 Mode opératoire	51
III.2.5 Teneur en eau	52
III.2.5.1 Définition.....	52
III.2.5.2 Principe.....	52
III.2.5.3 Mode opératoire	52
III.3 Discussion des Résultats	53
III.3.1 Interprétation des spectres infrarouge obtenus	53
III.3.2 Interprétation des résultats de : la densité, distillation ASTM, teneur en eau et la TVR.....	54
Conclusion	57

Liste d'abréviations

ASTM: American Society for Testing Materials

CCR: Continious Catalytic Reforming

CPECC: China Petroleum Engineering and Construction Corporation

CPP: Centrale de Production Propre

FT-IR: Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier

GPL: Gaz de Pétrole Liquéfié

HC: Hydrocarbures

IR: Infrarouge

MS-BLOCK: Motor Spirit Bloc

NHT : Naphtha Hydro-Treating

PF : Point d'ébullition finale

PI : Point d'ébullition initiale

Ppm : Partie Par Million

RA1G: Raffinerie d'Alger

RFCC: Residue fluid catalytic cracking

RON : Indice d'octane de recherche

SONATRACH : Société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation, et la commercialisation des hydrocarbures

TVR : Tension de vapeur

Liste des Figures

Figure I.1 : Situation géographique de la raffinerie d'Alger observée par satellite	2
Figure I.2 : Schéma de description de l'unité MS-BLOCK	7
Figure II.1 : Processus de raffinage du pétrole brut	11
Figure II.2 Schéma représentant le procédé de distillation atmosphérique	12
Figure II.3 : Distillation sous vide	13
Figure II.4 : Schéma des différentes sections du procédé CCR	28
Figure II.5 : Echangeur de chaleur PACKINOX	35
Figure II.6 : Schéma représentant le réacteur	37
Figure II.7 : Schéma représentant le régénérateur	39
Figure II.8 Illustration du catalyseur de CCR.....	41
Figure III.1 : Illustration du spectromètre de FTIR « shimadzu »	48
Figure III.2 : Illustration de la cellule d'échantillonnage KBr.....	49
Figure III.3 : Illustration du distillateur HERZOG OPTIDIST	50
Figure III.4 : Densimètre automatique ISL VIDA.....	51
Figure III.5 : Appareil de mesure de la TVR STANHOP SETA	52
Figure III.6 : Appareil de KARL FISHER type METHLER	53
Figure III.7 : Spectre FTR du naphta lourd dans la région 400-4000cm ⁻¹	54
Figure III.8 : Spectre FTR du reformat dans la région 400-4000cm ⁻¹	55

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Capacités de productions annuelles de la raffinerie d'Alger	4
Tableau III.1: Résultats des analyses physico-chimiques des échantillons : naphta lourd et le reformat	55

Introduction

Le pétrole brut est une ressource naturelle précieuse et polyvalente qui joue un rôle essentiel dans notre société moderne. Lorsqu'il est extrait du sol, il nécessite un processus de raffinage qui est une étape cruciale qui consiste à séparer et purifier les différents composants du pétrole brut pour obtenir une gamme de produits utiles tel que les essences.

L'essence est la variante de coupe de pétrole brut la plus recherchée, principalement en raison de la croissance de l'industrie automobile qui requiert des normes de qualité de plus en plus strictes pour obtenir les meilleures performances des véhicules. L'un des procédés qui visent à l'amélioration de la qualité des essences est le procédé de reformage catalytique.

Au fil des années, le procédé de reformage catalytique a évolué d'une méthode simple à une technologie de pointe grâce aux avancées technologiques et aux recherches approfondies dans le domaine. Le reformage catalytique a connu une transformation majeure d'un procédé semi-régénératif à un procédé à régénération en continu, permettant ainsi une amélioration significative en termes d'efficacité et de qualité des essences obtenus en augmentant leur indice d'octane.

Notre objectif principal était de réaliser une étude approfondie de fonctionnement du procédé et faire des analyses physico-chimiques dans le but d'assurer le bon déroulement du procédé. Notre travail sera subdivisé en trois chapitres :

- ✓ Le premier chapitre : nous allons présenter brièvement la raffinerie d'ALGER.
- ✓ Le deuxième chapitre : Nous mettrons en avant le procédé de reformage catalytique en continu
- ✓ Dernier chapitre : nous entameront la conception d'un protocole expérimentale et discuterons nos résultats.

Chapitre I : Présentation de la raffinerie d'Alger

I.1 Historique de la raffinerie d'Alger

La raffinerie d'Alger abrégée par (RA1G) est une importante installation de raffinage du pétrole brut gérée par la société national SONATRACH (acronyme de Société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation, et la commercialisation des hydrocarbures). Localisée à Sidi Arcine, Baraki, à environ 5 kilomètres au sud de la ville d'El Harrach et à 20 kilomètres de la capitale Alger. Elle s'étend sur une superficie de 182 hectares.

Elle a été mise en service en février 1964 pour satisfaire la demande, sans cesse, croissante du centre du pays en carburants (Essence, Kérosène et Gasoil) et exporter d'autres produits tels que le naphta et le résidu atmosphérique [1].

Avant 1971, l'approvisionnement en pétrole de la raffinerie se faisait par l'intermédiaire de tankers transportant du pétrole depuis Bejaia jusqu'au port pétrolier d'Alger. Ensuite, Un piquage a eu lieu à Beni Mansour à partir de pipe reliant Hassi-Messaoud - Bejaia, un oléoduc de 18 pouces d'une longueur de 131 km jusqu'à la raffinerie avec un débit de 500 m³/h, cette pipe qui a été refaite en 20 pouces avec un débit atteignant jusqu'à 800 m³/h [2].



Figure I.1 : situation géographique de la raffinerie d'Alger observée par satellite [3].

I.2 Derniers développement de la raffinerie

La raffinerie d'Alger a été récemment soumise à des travaux de réhabilitation qui ont été réalisés par China Petroleum Engineering and Construction Corporation (CPECC), elle a été sélectionnée par Sonatrach en 2016 pour mener cette réhabilitation. Le coût des travaux s'élevait à 420 milliards de dinars algériens, soit environ 420 millions de dollars américains. Cette modernisation de la raffinerie avait pour objectif de porter la capacité de raffinage de 2,7 millions de tonnes par an à 3,6 millions de tonnes par an et de mettre fin à la dépendance aux importations de carburants. Ce projet d'adaptation comprend à la fois la réorganisation de certaines unités existantes et la création des nouvelles unités [2].

Entre novembre 2019 et février 2020, la raffinerie a procédé à l'installation de son MS Block, une nouvelle unité pour la production des composants destinés à la fabrication des essences (hydrotraitement du naphta, Catalytic reforming CCR et isomérisation) ainsi que son RFCC Block pour le craquage catalytique (traitement des GPL associés, traitement des eaux acides, régénération des amines, récupération du soufre) [4].

I.3 Capacité de production

La raffinerie d'Alger RA1G a une capacité de traitement d'environ 3.6 millions tonnes par an de pétrole brut saharien. C'est une production à la norme Euro V qui est une norme antipollution, avec une gamme variée de produits qui répondent aux normes nationales et internationales qui sont les suivants [5] :

- Butane et propane commerciaux
- Naphta
- Essences normale et super
- Jet (Kérosène)
- Gas-oil
- Fuel lourd

On présente dans le tableau ci-dessous les capacités de production annuelles des différentes unités :

Tableau I.1 : Capacités de productions annuelles de la raffinerie d'Alger [6].

Produit	Production annuelle (tonnes/an)
Reformat	603333
Isomérat	364333
Naphta	76000
Fuel oil	60000
Propane	69333
Butane	209667
Essence normal	600000
Essence super	757000
Kérosène	620666
Gasoil	1261667

I.4 Unités principales de la raffinerie RA1G

Les unités suivantes font partie des principales installations de la raffinerie d'Alger :

I.4.1 Unité de distillation atmosphérique (unité 100)

L'utilité de cette unité est de séparer le pétrole brut en divers composants selon leur point d'ébullition. Cette séparation se fait grâce à un processus de distillation où le pétrole brut est chauffé pour vaporiser les composants à des températures spécifiques. Ensuite, les vapeurs sont condensées et collectées en différents produits tels que le gaz liquéfié du pétrole (GPL), l'essence, le kérosène, le diesel et le résidu de fond de cuve. Chaque produit est obtenu à un point d'ébullition différent, ce qui permet leur utilisation dans diverses applications industrielles et commerciales.

I.4.2 Unité de séparation des gaz-liquéfiés (Unité 300)

Appelée aussi unité de gaz-plant, c'est l'unité responsable de séparation et traitement des gaz de la raffinerie, elle permet la transformation et la purification du gaz naturel afin d'obtenir des produits gazeux commercialisables. Voici ce que représente généralement une unité gaz plant dans une raffinerie :

- Séparation des gaz (méthane, l'éthane, le propane, etc...)
- Extraction des liquides de gaz naturel (GPL)

- Traitement des gaz acides (élimination des impuretés)
- Compression et transport du gaz

I.4.3 Unité de craquage catalytique RFCC (unité 530)

Cette unité généralement alimentée en résidu de la distillation atmosphérique, est conçue pour traiter 1MT par an des produits pétroliers lourds pour les convertir en produits plus légers à partir des réactions de craquage qui consistent à rompre les grosses molécules en molécules plus petites et plus légères. Elle nécessite des températures élevées pour favoriser les réactions de craquage.

I.4.4 Section Sulfure BLOC

Cette section sert à réduire les émissions de soufre dans l'environnement et de respecter les réglementations environnementales en traitant le gaz issu de l'unité du craquage catalytique (RFCC) qui est riche en Sulfure d'hydrogène (H_2S) par le processus de désulfuration. Contribuant ainsi à la production de produits pétroliers plus propres et à la préservation de la qualité de l'air.

I.4.5 Utilités

Les utilités sont un ensemble d'unités qui représentent les services essentiels nécessaire pour le fonctionnement des autres sections de la raffinerie tels que la fourniture de l'énergie. Elle comporte 11 unités qui sont les suivantes :

- a) **Unité de l'eau brut** : distribue de l'eau aux différentes installations de la raffinerie
- b) **Tours de refroidissement** : alimentée par l'unité précédente et sert à la livraison de l'eau de refroidissement aux autres unités
- c) **Unité d'eau déminéralisée** : transforme l'eau brut en eau déminéralisée
- d) **Unité d'eau anti incendie** : chargée de fournir de l'eau en quantité suffisante et à haute pression pour la lutte contre les incendies
- e) **Unité centrale de production propre (CPP)** : produit de l'électricité nécessaire à toute la raffinerie
- f) **Unité de production d'air** : production d'air comprimé utilisé pour les robinets d'incendie, la régénération catalytique, le décokage des fours, etc...
- g) **Torche** : élimine en toute sécurité les déversements de gaz d'hydrocarbures et les liquides des conduites de la torchère

- h) Unité de production d'azote :** production d'azote gazeux et liquide
- i) Unité de polissage des condensats :** traitement des condensats pollués générés par diverses unités de traitement de la raffinerie
- j) Unité de soude caustique et acide chlorhydrique :** production de l'acide chlorhydrique (HCL) et de l'hydroxyde de sodium (NaOH)
- k) Unité de traitement des effluents :** traitement des eaux usées produites lors de l'activité de la raffinerie.

I.4.6 Parc de stockage

C'est une zone de la raffinerie dédiée au stockage des produits pétroliers avant leur distribution. Elle est composée de 53 réservoirs cylindriques d'une capacité totale de 474500 m³ pour le stockage du pétrole brut et pour les produits finis et semi-finis, dont 9 réservoirs sphériques d'une capacité de 15106 m³ pour le stockage du propane et du butane [1].

I.4.7 Laboratoire

Comme toute raffinerie de pétrole, la raffinerie RA1G dispose d'un laboratoire qui est une installation importante équipée d'appareils et instruments spécialisés, pour effectuer des analyses et des tests sur les échantillons de produits pétroliers et de matières premières prélevés tout au long du processus de raffinage. Elle a pour objectif d'évaluer la qualité, examiner les propriétés et vérifier la conformité des produits aux normes requises.

I.4.8 Salle de contrôle

La salle de contrôle de la raffinerie est équipée d'un système de surveillance où les opérateurs et les techniciens suivent, contrôlent et gèrent les différentes étapes des procédés de raffinage ainsi que leurs paramètres (température, pression, débits, etc...). Ils coordonnent les opérations, gèrent les alarmes et prennent des décisions opérationnelles pour assurer la sécurité des travailleurs et garantir un fonctionnement sûr, efficace et conforme aux normes de la raffinerie.

I.4.9 Unité MS-BLOCK

Cette unité est divisée en trois différentes unités exposées dans le schéma ci-dessous :

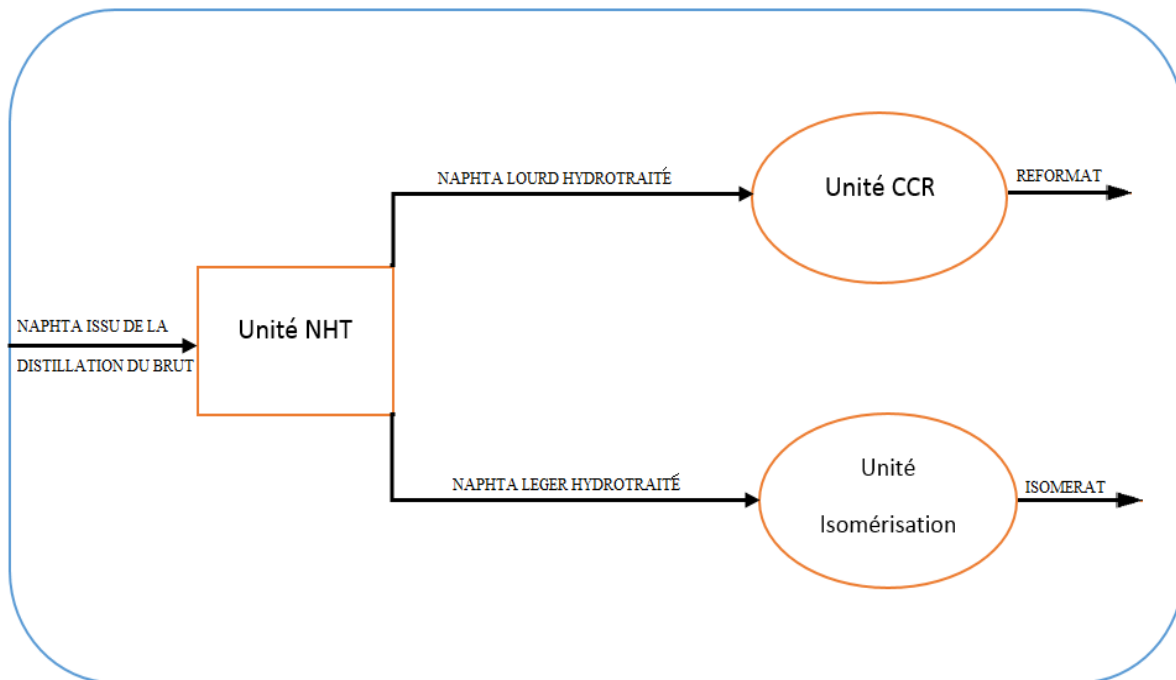


Figure I.2 : Schéma de description de l'unité MS-BLOCK

I.4.9.1 Unité d'hydrotraitement NHT (U-500)

L'unité 500 est une unité d'hydrotraitement des naphthas, permettant d'obtenir différentes coupes de naphtha débarrassées de multiples composés tels que l'eau, les halogènes, les sulfures, le nitrogène, les oléfines et dioléfines, le mercure, l'arsenic, etc. pouvant altérer l'efficacité des catalyseurs utilisés dans les unités aval d'isomérisation et de reforming CCR [7].

I.4.9.2 Unité d'isomérisation des naphthas (U-510)

Cette unité sert à l'isomérisation des naphthas, c'est-à-dire à la transformation des C5 et C6 en leurs isomères, afin d'obtenir un produit à haut indice d'octane utilisé dans les sections de mélanges pour obtenir les essences commerciales produites par la raffinerie [7].

I.4.9.3 Unité de reforming CCR (U-520)

L'unité de Reforming CCR est une nouvelle unité qui est installée récemment remplaçant l'ancienne unité de reformage, elle permet d'obtenir un meilleur rendement et un produit à indice d'octane supérieur à ceux obtenus à l'aide de l'unité 200 (unité existante). A l'aide d'un catalyseur, cette unité a pour but de produire un naphtha à haut indice d'octane afin de le mélanger et obtenir des essences à fort indice d'octane [7].

Références Bibliographiques

- [1] F. Wheeler, Plan de construction de la raffinerie d'Alger RA1G, 1964.
- [2] A. HASSANI, A. GACEM « Optimisation des paramètres de marche de réacteur afin d'assurer une bonne circulation de catalyseur dans l'unité CCR » Mémoire de master 2, option Génie Chimique, USTHB, 2021.
- [3] Google LCC, 'Raffinerie de sidi R'cine Baraki', Google Maps, [<https://www.google.com/maps/>].
- [4] R. RABHI, « Etude du fonctionnement de la colonne de stabilisation 520-C-001 dans l'unité de reformage catalytique CCR-520 » Rapport de fin d'induction, 2021.
- [5] S. BELGOUR, R. BENBELKHIR « Etude de la Performance de l'unité de Reformage Catalytique à Régénération en Continue CCR de la Raffinerie D'Alger » Mémoire de master 2, en Génie Chimique, U.M.B.B, 2021.
- [6] R. HADJ MESSAOUD, « Étude de la non-conformité du naphta issu de l'unité de topping de la raffinerie d'Alger », Mémoire de master 2, en Génie Chimique, univ de BLIDA 1, 2020.
- [7] Documentation de la raffinerie d'Alger, Projet d'adaptation de la Raffinerie d'Alger
SECTION MS-BLOCK, 2021.

Chapitre II : Reformage catalytique en continu (CCR)

II.1 Pétrole brut

II.1.1 Définition

Le pétrole est une ressource naturelle formée à partir de matière organique enfouie dans le sol depuis des millions d'années. Il s'agit d'une substance liquide, généralement d'une couleur variant du noir au brun, composée principalement d'hydrocarbures.

Le processus de formation du pétrole commence avec la décomposition de matière organique, telle que des restes de plantes et d'animaux marins, qui se déposent au fond des océans et des lacs. Au fil du temps, ces débris organiques sont ensevelis sous des couches de sédiments, subissant des pressions et des températures élevées. Sous ces conditions, la matière organique se transforme en hydrocarbures, donnant naissance au pétrole.

II.1.2 Composition du pétrole brut

Le pétrole brut est un mélange complexe d'hydrocarbures, qui sont des composés constitués d'atomes de carbone et d'hydrogène. La composition précise du pétrole brut peut varier considérablement d'un gisement à l'autre. Cependant, les principaux composants du pétrole brut comprennent généralement les types d'hydrocarbures suivants :

- **Hydrocarbures saturés** : Ces composés ne contiennent que des liaisons simples entre les atomes de carbone. Ils comprennent les alcanes, également appelés paraffines.
- **Hydrocarbures insaturés** : Ces composés contiennent au moins une liaison double ou triple entre les atomes de carbone. Les alcènes (ou oléfines) et les alcynes en sont des exemples.
- **Hydrocarbures aromatiques** : Ces composés ont une structure en anneau, telle que le benzène. Les composés aromatiques peuvent contenir des liaisons doubles alternées.
- **Composés non hydrocarbonés** : En plus des hydrocarbures, le pétrole brut peut contenir des composés contenant d'autres éléments tels que l'azote, le soufre, l'oxygène, et des traces de métaux.
- **Impuretés** : Le pétrole brut peut également contenir des impuretés telles que des sels, des métaux, des particules solides, et de l'eau.

La variété de composants dans le pétrole brut est ce qui rend chaque gisement unique. Lors du raffinage, ces composants sont séparés en fractions différentes en fonction de leurs points d'ébullition, créant ainsi divers produits pétroliers tels que l'essence, le diesel, le kérosène, et d'autres.

II.1.3 Pétrole algérien

L'Algérie, en tant que producteur et exportateur majeur de pétrole, joue un rôle crucial sur la scène pétrolière mondiale avec d'importantes réserves d'hydrocarbures. Ces ressources ont été un moteur clé du développement économique depuis les années 1950. En tant que membre de l'OPEP, l'Algérie influence les marchés mondiaux du pétrole. Cependant, la dépendance aux prix du pétrole a incité le gouvernement à explorer la diversification économique. Cette dualité entre la richesse pétrolière et la nécessité de stabilité économique souligne les défis et opportunités auxquels l'Algérie est confrontée dans un contexte énergétique mondial en mutation.

II.1.4 Caractéristiques du pétrole algérien

Les caractéristiques du pétrole algérien peuvent varier en fonction des gisements spécifiques, mais voici quelques éléments généraux qui décrivent souvent le pétrole algérien :

- **Qualité du pétrole** : Le pétrole algérien est généralement considéré comme de bonne qualité, avec un degré d'API relativement élevé. Un degré API élevé indique une densité plus légère du pétrole, ce qui peut faciliter son raffinage.
- **Variété des gisements** : L'Algérie possède une diversité de gisements pétroliers, allant des gisements onshore (sur terre) aux gisements offshore (en mer). Chaque gisement peut avoir des caractéristiques chimiques et géologiques uniques.
- **Composition chimique** : La composition chimique du pétrole algérien peut varier en termes de teneur en soufre, en paraffine, en résine, etc. Une faible teneur en soufre est souvent préférée car elle réduit les coûts de raffinage et limite les émissions de polluants.

II.2 Raffinage du pétrole

II.2.1 Définition

Le raffinage est le processus industriel par lequel le pétrole brut est transformé en produits pétroliers utilisables tels que l'essence, le diesel, le kérosène, le fioul domestique et bien d'autres. Il s'agit d'une série d'opérations physiques et chimiques complexes qui

permettent de séparer, convertir et purifier les différents composants présents dans le pétrole brut afin d'obtenir des produits finis répondant aux normes de qualité et de spécifications requises par le marché. La figure ci-dessous résume le raffinage du pétrole brut :

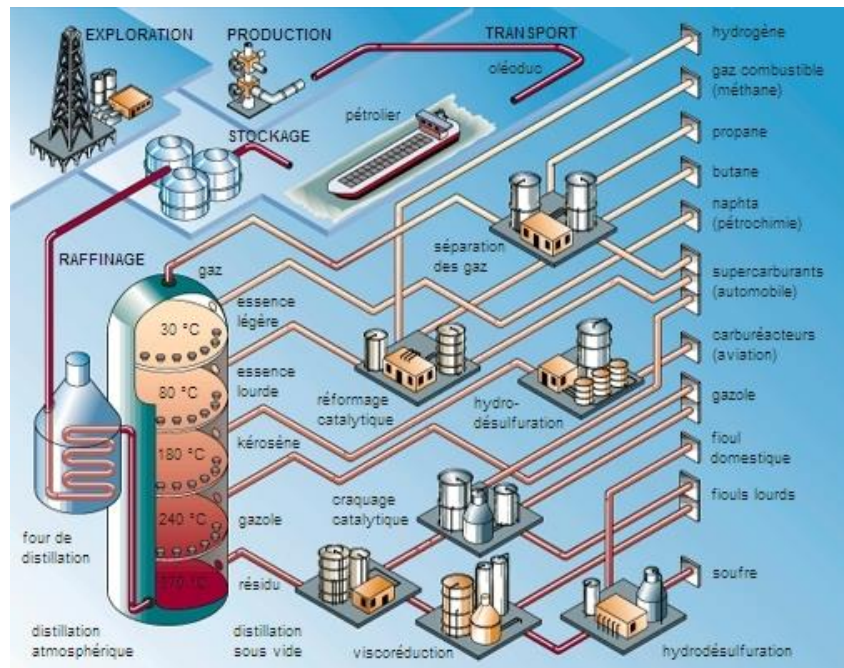


Figure II.1 : Processus de raffinage du pétrole brut [1].

II.2.2 Différents procédés de raffinage du pétrole

Le pétrole brut est rarement pur et contient généralement divers contaminants tels que de l'eau, des sels inorganiques, des particules solides en suspension et des traces de métaux solubles dans l'eau. La première étape du raffinage est le dessalage et déshydratation, qui vise à éliminer l'eau, les sels inorganiques, les solides en suspension et les traces de métaux solubles dans l'eau présents dans le pétrole brut. Cette étape est essentielle pour réduire la corrosion, prévenir le colmatage et l'encrassement des équipements, et éviter l'empoisonnement des catalyseurs dans les unités de production.

La transformation du pétrole brut est une étape fondamentale dans une raffinerie. Elle consiste à convertir le brut en produits finis en suivant des processus rigoureux qui se divisent en trois types d'opérations principales : séparation, conversion et amélioration.

II.2.2.1 Procédés de séparations

Le procédé de séparation dans une raffinerie est une étape essentielle du raffinage du pétrole brut. Il vise à fractionner le pétrole brut en différentes fractions, en fonction de leur point d'ébullition, afin d'obtenir des produits pétroliers spécifiques.

A. Distillation atmosphérique

Ce procédé consiste à chauffer le pétrole brut dans une colonne de distillation pour séparer les différents composants en fonction de leurs points d'ébullition. Les fractions légères, telles que l'essence et le naphta, sont récupérées en haut de la colonne, tandis que les fractions plus lourdes, telles que le diesel et le fioul, sont récupérées en bas [2]. Voir figure II.2 :

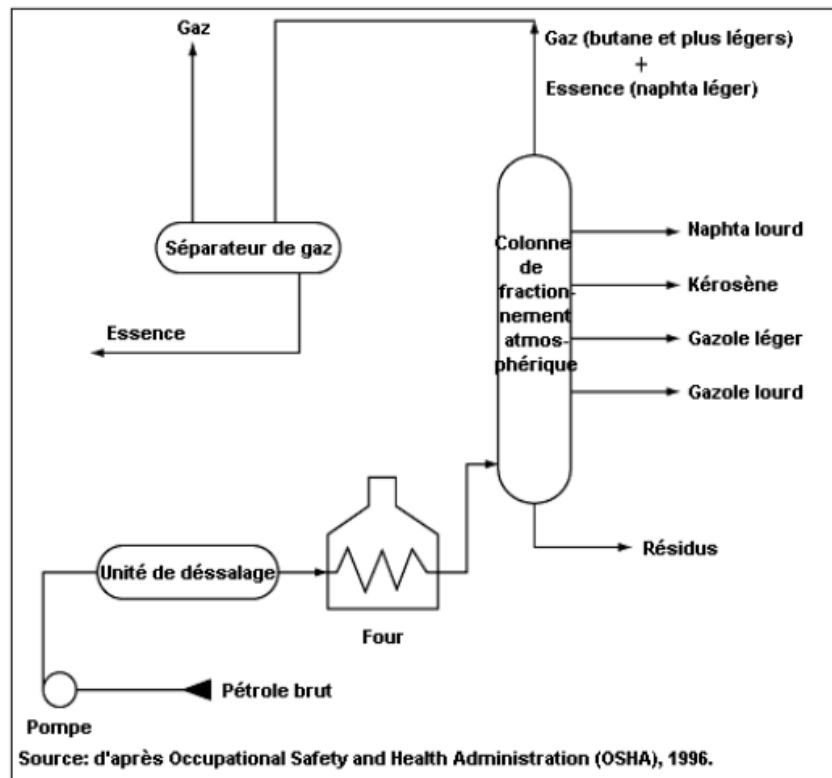


Figure II.2 : Schéma représentant le procédé de distillation atmosphérique

B. Distillation sous vide :

Après la distillation atmosphérique, la distillation sous vide est utilisée pour extraire des fractions plus lourdes du pétrole brut, telles que les résidus atmosphériques et les résidus sous vide, qui peuvent être utilisés comme matières premières pour d'autres procédés, comme le montre la figure ci-dessous [2] :

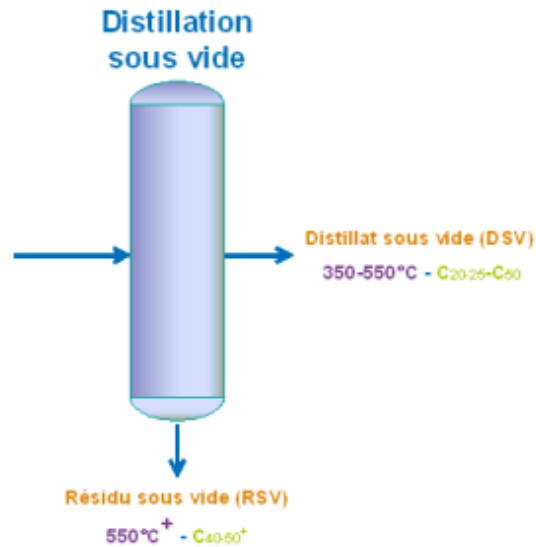


Figure II.3 Distillation sous vide [3].

II.2.2.2 Procédés de conversion

Les opérations de conversion sont utilisées pour transformer les fractions pétrolières brutes en fractions plus légères et précieuses. Parmi ces opérations, on trouve le craquage catalytique, l'hydrocraquage, le reformage catalytique, l'isomérisation et l'alkylation. Ces procédés permettent d'améliorer la qualité des produits et d'optimiser leur valeur.

A. Craquage thermique

Ce procédé consiste à chauffer les coupes pétrolières à des températures élevées en l'absence de catalyseur. Il permet de casser les grosses molécules en fractions plus légères, telles que l'essence et le diesel.

B. Craquage catalytique

Le craquage catalytique est un procédé qui utilise un catalyseur pour convertir les coupes pétrolières lourdes en fractions plus légères et plus précieuses, principalement de l'essence.

C. Hydrocraquage

L'hydrocraquage est un procédé qui combine le craquage thermique et l'hydrogénation. Il utilise de l'hydrogène et un catalyseur pour casser les grosses molécules et éliminer les impuretés telles que le soufre et l'azote.

D. Isomérisation

L'isomérisation est un procédé utilisé pour convertir les coupes pétrolières légères en isoparaffines. Cela permet d'améliorer l'indice d'octane de l'essence et de maximiser son rendement.

E. Alkylation

La réaction d'alkylation est utilisée pour combiner des coupes pétrolières légères, telles que les isobutanes et les oléfines, pour former des composés plus lourds et hautement ramifiés, tels que l'alkylate.

F. Reformage catalytique

Le reformage catalytique est un procédé de conversion des coupes pétrolières légères en composés plus aromatiques, améliorant ainsi l'indice d'octane de l'essence.

II.2.2.3 Procédés d'amélioration

Le procédé d'amélioration englobe l'ensemble des opérations et des techniques utilisées pour éliminer les impuretés, réduire les contaminants et améliorer les propriétés des produits pétroliers finis dans une raffinerie.

II.2.3 Produits pétroliers

Le raffinage du pétrole brut permet de produire une gamme variée de produits pétroliers raffinés. Voici quelques-uns des principaux produits pétroliers obtenus lors du processus de raffinage [2] :

- **Essence**

L'essence est un carburant utilisé principalement pour les véhicules à essence. Elle est obtenue à partir de fractions légères du pétrole brut, telles que celles issues de la distillation atmosphérique et de la conversion catalytique.

- **Diesel**

Le diesel est un carburant utilisé dans les moteurs diesel, notamment dans les véhicules utilitaires, les camions et les locomotives. Il est généralement produit à partir de fractions moyennes du pétrole brut, comme le gasoil provenant de la distillation atmosphérique.

- **Kérosène**

Le kérosène est utilisé principalement comme carburant d'aviation pour les avions à réaction et les turbines. Il est obtenu à partir de fractions moyennes du pétrole brut, telles que le distillat moyen provenant de la distillation atmosphérique.

- **Fioul domestique**

Le fioul domestique est utilisé pour le chauffage résidentiel et commercial. Il est obtenu à partir de fractions lourdes du pétrole brut, comme les résidus atmosphériques et les résidus sous vide.

- **Gaz de pétrole liquéfié (GPL)**

Le GPL est un mélange de gaz comprenant principalement du propane et du butane. Il est utilisé comme carburant pour le chauffage, la cuisson et les véhicules fonctionnant au GPL.

- **Lubrifiants**

Les lubrifiants sont des produits utilisés pour réduire le frottement et l'usure dans les machines et les moteurs. Ils sont produits à partir de fractions lourdes du pétrole brut, qui sont soumises à des procédés de raffinage et d'additivation spécifiques

- **Bitume**

Le bitume, également connu sous le nom d'asphalte, est utilisé pour la construction des routes et des revêtements routiers. Il est obtenu à partir des résidus lourds du pétrole brut, généralement par distillation sous vide et traitement ultérieur.

II.2.4 Indice d'octane

L'indice d'octane est une mesure de la capacité d'un carburant à résister à l'auto-allumage ou aux cliquetis dans un moteur à combustion interne. Autrement dit, c'est la capacité d'un carburant à brûler de manière contrôlée ce qui permet un fonctionnement efficace et sans aucun dommage pour le moteur. Plus l'indice d'octane est élevé, plus la qualité du carburant est meilleure et plus la performance du moteur est meilleure.

II.2.5 Naphta

II.2.5.1 Définition

Le naphta est une fraction légère du pétrole brut, généralement obtenue à partir de la distillation atmosphérique. Il se compose d'hydrocarbures volatils, tels que des alcanes, des cyclo alcanes et des composés aromatiques légers. Sa composition peut varier en fonction de la source du pétrole brut et des spécifications de raffinage.

II.2.5.2 Types de naphthas

- **Naphta léger**

Le naphta léger est une fraction de pétrole brut constituée principalement d'hydrocarbures légers tels que les alcanes et les cycloalcanes. Il a une faible viscosité et une volatilité élevée, ce qui le rend approprié pour des utilisations telles que la production d'essence et de solvants.

- **Naphta lourd**

Le naphta lourd est une fraction de pétrole brut qui contient une proportion plus élevée d'hydrocarbures lourds, tels que les alcanes à longue chaîne et les composés aromatiques. Il a une viscosité plus élevée et une volatilité plus faible par rapport aux naphthas légers. Le naphta lourd peut être utilisé dans des applications telles que la production de carburants pour moteurs diesel et de fioul domestique.

II.2.5.3. Obtention du naphta à partir de la distillation

Dans les raffineries, le pétrole brut est chauffé dans un grand réservoir appelé tour de distillation ou colonne de fractionnement. Le chauffage permet de vaporiser le pétrole et le séparer en différentes fraction en fonction de leurs points d'ébullition.

Au fur et à mesure que le pétrole chauffe, les différentes fractions légères telle que le gaz de pétrole liquide (GPL) et le naphta, se trouvent dans les parties supérieures de la colonne, où les températures sont plus basses.

Le naphta, étant une fraction relativement légère, se condense à une température plus basse que les fractions plus lourdes, une fois le naphta condensé, il peut subir d'autres traitements tels que le craquage catalytique ou le reformage catalytique, pour améliorer sa qualité et le transformer en produits pétroliers plus précieux, tels que l'essence.

II.2.5.4 Utilisations du naphta

1. Reformage catalytique

Le naphta lourd est utilisé comme charge dans le reformage catalytique, ce procédé consiste à la transformation des hydrocarbures avec un faible indice d'octane aux aromatiques et aux isoparaffines qui ont un haut indice d'octane.

2. Isomérisation

L'isomérisation du naphta est une étape importante du processus de raffinage qui vise à convertir les hydrocarbures linéaires en isomère plus ramifié cette conversion permet d'améliorer les propriétés des fractions légères notamment leur indice d'octane, stabilité à la combustion et leur résistance à la détonation.

3. Fabrication des produits chimiques

Le naphta sert également de matière première dans la production de divers produits chimiques. Il peut être utilisé comme aliment de base pour la production du plastique, des fibres synthétiques, d'explosifs, produits pharmaceutiques et d'autres produits chimiques organiques.

Ces utilisations du naphta ne sont pas exhaustives, car il peut être utilisé dans nombreux autres processus industriels.

II.2.5.5 Caractéristiques des naphthas

Les caractéristiques des naphthas peuvent varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que la source du pétrole brut, le procédé de raffinage utilisé et les spécifications requises pour l'application finale. Voici quelques-unes des caractéristiques courantes des naphthas [4] :

- **Gamme d'ébullition**

Les naphthas ont une gamme d'ébullition relativement basse, ce qui signifie qu'ils ont une volatilité élevée. Cela les rend appropriés pour des utilisations telles que la production d'essence et de solvants.

- **Indice d'octane**

Les naphthas utilisés pour la production d'essence sont souvent formulés pour avoir un indice d'octane élevé, ce qui améliore les performances des moteurs à essence.

- **Composition chimique**

Les naphthas sont composés principalement d'hydrocarbures légers, tels que des alcanes, des cyclo alcanes et des composés aromatiques légers. La proportion de ces composés peut varier en fonction de la source du pétrole brut et du procédé de raffinage utilisé.

- **Densité**

La densité des naphthas peut varier en fonction de leur composition chimique. En général, les naphthas légers ont une densité plus faible que les naphthas plus lourds.

- **Teneur en soufre**

Les naphthas peuvent contenir une certaine quantité de soufre, bien que les normes environnementales et les spécifications des produits finaux aient tendance à limiter la teneur en soufre. La désulfuration est souvent réalisée pour réduire la teneur en soufre des naphthas.

II.2.6 Procédé d'hydrotraitement du naphta (NHT)

II.2.6.1 Définition

L'hydrotraitement du naphta est un processus de purification du naphta, qui vise à éliminer les impuretés et à réduire la teneur en soufre. Cela se fait en le traitant avec de l'hydrogène sous l'effet d'un catalyseur bimétallique constitué de cobalt et de molybdène dispersé sur support d'alumine, ce qui améliore la qualité du naphta en le rendant plus propre et plus adapté à une utilisation ultérieure dans la production d'essence et d'autres produits pétrochimiques.

Ce procédé comporte trois opérations consécutives :

- **Section réaction :** Traitement du naphta dans un réacteur adiabatique sur un lit de catalyseur bimétallique fixe dans un environnement d'hydrogène et une température modérément élevée comprise entre 280°C et 310°C est nécessaire pour favoriser ces réactions chimiques.
- **Section Stripper :** Epuisement du produit brut hydrotraité pour éliminer les fractions légères, les produits gazeux, y compris le H₂S et l'eau.
- **Section Séparateur :** Le naphta à coupe large est ensuite séparé en fractions spécifiées pour alimenter l'unité isomérisation en naphta léger, et l'unité reformage en naphta lourd [4].

II.2.6.2 Objectif du procédé

L'objectif de l'hydrotraitement du naphta est d'éliminer les poisons de catalyseur tels que : le soufre, l'azote, l'eau, les halogènes, les oléfines, les dioléfines, le mercure et d'autres métaux, afin de fournir des matières premières hydrotraitées pour alimenter les autres unités. Cette unité sert aussi à séparer le naphta de distillation directe en naphta léger et naphta lourd pour alimenter respectivement les unités d'isomérisation et de reformage catalytique (CCR).

II.2.7 Procédé de reformage catalytique (CCR)

II.2.7.1 Définition

Le reformage catalytique continu (CCR) est un procédé chimique utilisé dans le raffinage du pétrole pour améliorer la qualité des essences en augmentant leur indice d'octane en utilisant des catalyseurs multifonctionnels à des températures élevées.

II.2.7.2 Principe :

La charge de naphta pour une unité de reformage CCR contient en principe des paraffines en C6 à C11, des naphènes et des aromatiques. Ce procédé de reformage a pour but de produire des aromatiques à haut indice d'octane à partir de paraffines et de naphènes, destinés à servir de composants de mélange à haut indice d'octane. Avec ce procédé, la conversion se fait en faisant passer le naphta sur un lit mobile de catalyseur bimétallique, dans quatre réacteurs, en présence d'hydrogène à température relativement élevée et à basse pression. En travaillant dans ces conditions le rythme de dépôt de coke sur le catalyseur est relativement élevé. Dans ce cas, il est nécessaire de disposer d'une unité de régénération catalytique en continu. Avec ce procédé, le catalyseur est retiré de la section de réaction avec un rythme fixe, régénéré dans l'unité de régénération catalytique en continu, puis renvoyé frais dans la section de réaction. Le rythme de retrait et de régénération du catalyseur assure de disposer d'un catalyseur fortement actif en permanence, avec une faible teneur en carbone et une teneur contrôlée en chlorure/eau. Cela permet de maximiser les rendements de dégagement de gaz à la fois de reformat et d'hydrogène de haute qualité [5].

II.2.7.3 Objectifs :

Ce procédé a pour but de :

- Produire un reformat à haut indice d'octane de l'ordre de 105 RON
- Produire un gaz riche en hydrogène

II.2.7.4 Types de Reformage catalytique

Il existe deux types de reformage catalytique : le reformage catalytique semi-régénératif (à lit fixe) et le reformage catalytique régénératif continu (à lit mobile). Le choix entre les deux procédés dépend notamment de la taille de l'unité, les objectifs de production, les contraintes opérationnelles et les ressources disponibles. Voici une comparaison entre le reformage catalytique semi-régénératif et le régénératif continu :

A. Régénération des catalyseurs :

- **Reformage catalytique semi-régénératif** : Dans ce procédé, les catalyseurs sont régénérés périodiquement en arrêtant le réacteur. Les catalyseurs usés sont retirés du réacteur et soumis à un processus de régénération hors ligne avant d'être réintroduits dans le réacteur.
- **Reformage catalytique régénératif continu** : Ce procédé utilise un système de régénération en continu où une partie des catalyseurs est retirée du réacteur et régénérée en ligne, tandis que l'autre partie continue de fonctionner. Les catalyseurs régénérés sont ensuite réintroduits dans le réacteur tandis que les catalyseurs épuisés sont retirés du cycle.

B. Continuité de l'opération :

- **Reformage catalytique semi-régénératif** : Ce procédé nécessite des arrêts périodiques pour la régénération des catalyseurs, ce qui peut entraîner des interruptions de la production et une diminution de l'efficacité globale du processus.
- **Reformage catalytique régénératif continu** : Le principal avantage de ce procédé est sa capacité à maintenir une production continue sans arrêts complets du réacteur. En régénérant en ligne une partie des catalyseurs à la fois, l'unité peut fonctionner de manière continue.

C. Contrôle des performances :

- **Reformage catalytique semi-régénératif** : Le contrôle des performances du procédé peut être plus complexe en raison des variations associées aux cycles d'arrêt et de régénération des catalyseurs.

- **Reformage catalytique régénératif continu** : Ce procédé offre un meilleur contrôle des performances grâce à la régénération cyclique des catalyseurs. La régénération en ligne permet de maintenir des conditions de réaction plus stables et de maximiser l'efficacité du processus.

D. Gestion des contraintes opérationnelles :

- **Reformage catalytique semi-régénératif** : Les arrêts périodiques pour la régénération des catalyseurs peuvent entraîner des défis logistiques et opérationnels, notamment en termes de planification des arrêts de l'unité.
- **Reformage catalytique régénératif continu** : Ce procédé simplifie la gestion des contraintes opérationnelles en permettant une régénération en ligne et en évitant les arrêts complets du réacteur. Cela réduit les perturbations et permet une utilisation plus efficace des ressources.

II.2.7.5 Contraintes techniques et économiques du procédé de reformage

Le procédé de reformage catalytique en continu présente plusieurs contraintes. Des efforts constants sont déployés pour faire progresser la technologie et apporter des améliorations continues afin de réduire ces limitations et d'augmenter l'efficacité et la rentabilité du processus. Voici les principales contraintes de ce procédé :

- A. Température élevée** : Le reformage catalytique nécessite des températures élevées, généralement entre 500 et 700 degrés Celsius, pour que les réactions chimiques se produisent. Cela peut entraîner des problèmes de sécurité, d'usure des équipements et de consommation d'énergie élevée.
- B. Sensibilité au coke** : Le coke est un sous-produit indésirable de la réaction de reformage catalytique. Il s'agit d'une substance carbonée qui se dépose sur les catalyseurs, réduisant leur efficacité. La présence de coke nécessite une régénération régulière des catalyseurs ou leur remplacement, ce qui entraîne des coûts supplémentaires.
- C. Empoisonnement catalytique** : Certains composés présents dans le gaz d'alimentation du reformage catalytique, tels que les sulfures et les métaux lourds,

peuvent empoisonner les catalyseurs et réduire leur activité. Le gaz d'alimentation doit donc être prétraité pour éliminer ces impuretés, ce qui peut être coûteux.

- D. **Séparation des produits** : Le reformage catalytique produit un mélange de différents hydrocarbures, tels que l'hydrogène, le méthane, l'éthane, le propane et les hydrocarbures supérieurs. La séparation de ces produits peut être complexe et nécessite des étapes supplémentaires de purification et de fractionnement.
- E. **Contrôle des réactions secondaires** : Le reformage catalytique peut entraîner des réactions secondaires indésirables, telles que la formation de coke, la déshydrogénation et la réaction de réarrangement. Ces réactions peuvent réduire le rendement en produits souhaités et nécessitent un contrôle précis des conditions de réaction pour les minimiser.
- F. **Contraintes opérationnelles** : Le reformage catalytique en continu nécessite un fonctionnement continu et stable des réacteurs et des unités associées. Cela peut poser des défis en termes de contrôle de la température, de la pression, du débit et de la composition des gaz d'alimentation, ainsi que de la gestion des catalyseurs.

II.2.7.6 Réactions mises en jeu

Il existe deux types de réactions mises en jeu dans ce procédé de reformage :

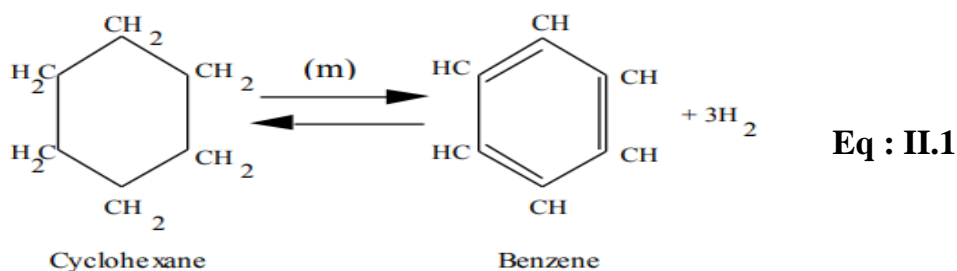
- **Réactions souhaitables** : ce sont des réactions qui favorisent l'augmentation de l'indice d'octane et la production d'hydrogène.
- **Réactions indésirables** : ce sont des réactions qui conduisent à la diminution de l'indice d'octane et la diminution de la pureté de l'hydrogène.

II.2.7.6.1 Réactions souhaitées

A. Déshydrogénation des naphthènes

Les composés naphthéniques tels que cyclohexane, méthylcyclohexane, diméthylcyclohexane jusqu'aux naphthènes C10 sont déshydrogénés respectivement en benzène, toluène, xylènes, aromatiques en C9 et C10 avec la production de 3 moles d'hydrogène par mole de naphthène. Cette réaction est hautement endothermique [5].

La réaction du cyclohexane, par exemple, s'écrit de la façon suivante :

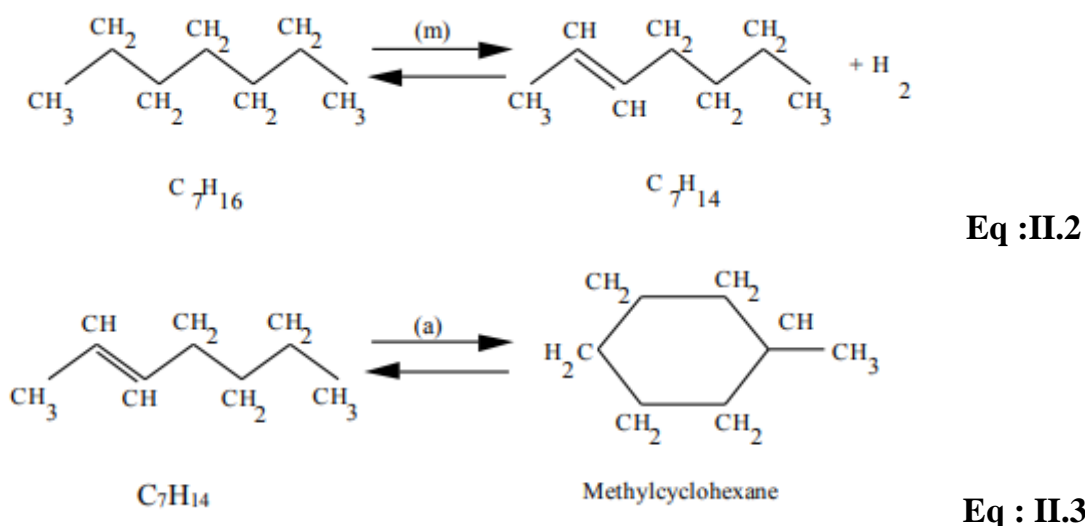


avec (m) : la fonction métallique du catalyseur.

B. Déshydrocyclisation des paraffines

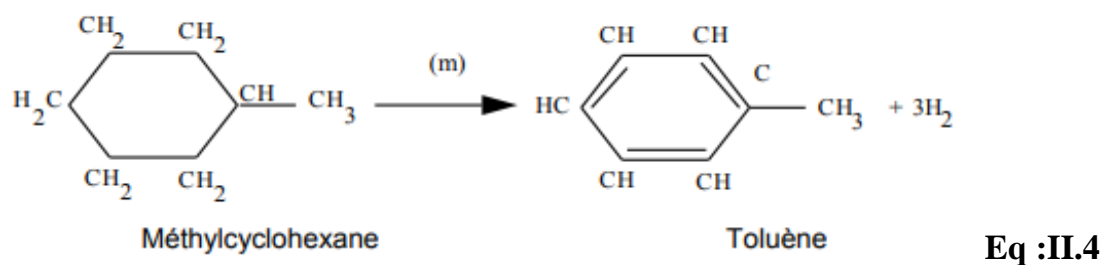
Il s'agit d'un procédé à plusieurs étapes applicables aux paraffines normales ou aux isoparaffines. Il entraîne une déshydrogénation avec libération d'une mole d'hydrogène et réarrangement ultérieur de la molécule produite qui conduit à la formation d'un naphène qui s'ensuit par une déshydrogénation (aromatisation) qui augmente significativement l'indice d'octane. Le réarrangement moléculaire est la réaction la plus difficile à favoriser.

La réaction s'écrit comme suit :



Eq : II.2

Eq : II.3



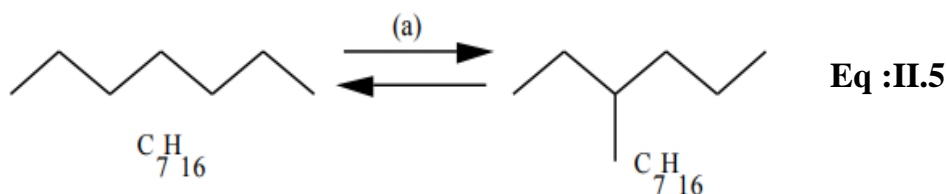
(a) : la fonction acide du catalyseur

(m) : la fonction métallique du catalyseur

C. Isomérisation des paraffines linéaires

Réactions sont rapides, légèrement exothermiques et sont sans incidence sur le nombre d'atomes de carbone. L'isomérisation des paraffines produit une légère augmentation de l'indice d'octane, ces réactions sont favorisées par la fonction acide du support de catalyseur.

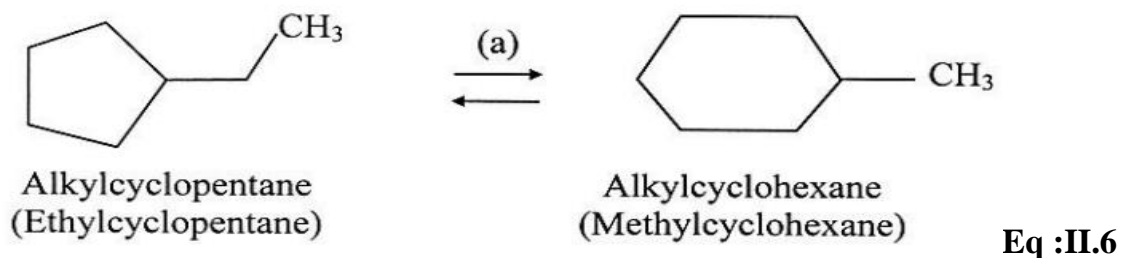
La réaction est la suivante :



D. Isomérisation des naphènes

L'isomérisation d'un alkyl-cyclopentane en alkyl-cyclohexane implique un réarrangement annulaire et elle est souhaitable en raison de la déshydrogénation de l'alkyl-cyclohexane en aromatique qui s'ensuit. En raison de la difficulté inhérente au réarrangement annulaire, le risque d'ouverture de l'anneau pour donner de la paraffine est élevé [5].

La réaction peut se résumer comme suit :

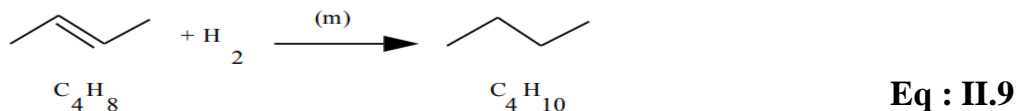
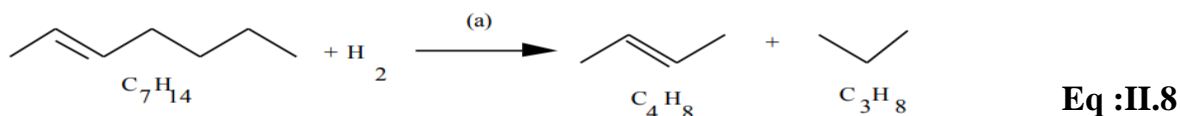
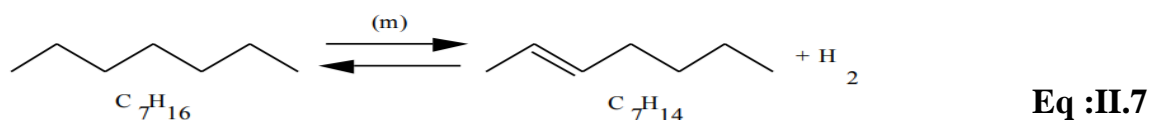


II.2.7.6.2 Réactions non souhaités

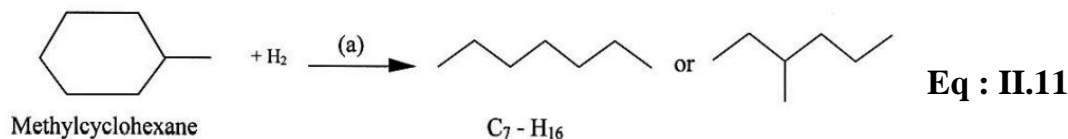
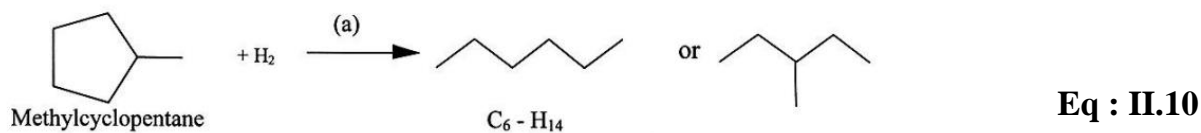
A. Craquage

Les réactions de craquage comprennent les réactions d'hydrocraquage et d'hydrogénolyse. L'hydrocraquage affecte soit les paraffines (normales ou iso), soit les naphènes. Il implique à la fois la fonction acide et la fonction métallique du catalyseur. Dans une certaine mesure, il constitue une réaction parallèle à la déshydrocyclisation des paraffines. Il peut se schématiser en une première étape de déshydrogénation impliquant la fonction métallique du catalyseur, suivie par une rupture de l'oléfine résultante et l'hydrogénation de l'oléfine à chaîne courte qui s'ensuit. La deuxième réaction est favorisée par la fonction acide du catalyseur [5].

Ce phénomène est favorisé aux pressions et température élevées.



L'hydrocraquage affecte également les naphènes et la réaction globale peut se résumer de la manière suivante :

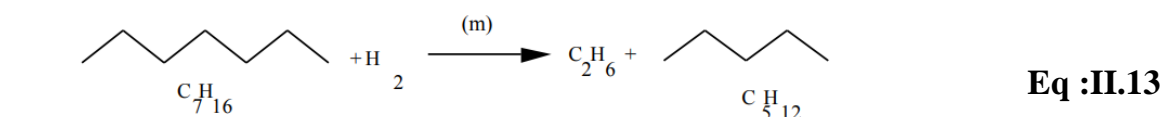
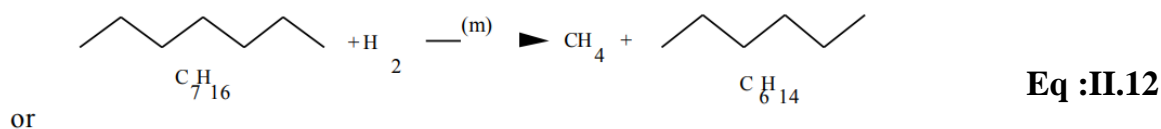


B. Hydrogénolyse

Cette réaction indésirable a quelques similitudes avec l'hydrocraquage puisqu'elle implique une consommation d'hydrogène et une rupture moléculaire. Elle est cependant favorisée par la fonction métallique du catalyseur et conduit à des hydrocarbures plus légers C₁ + C₂, ayant même mois de valeur que le GPL (C₃ + C₄).

Comme l'hydrocraquage, elle est exothermique et favorisée par les hautes pressions et les hautes températures [5].

Il est possible de la schématiser de la façon suivante :



C. Hydrodésalkylation

L'hydrodésalkylation est la rupture du radical ramifié d'un anneau aromatique. Cette réaction consomme de l'hydrogène et produit du méthane. Elle est favorisée par les hautes pressions et les hautes températures, et par la fonction métallique du catalyseur. Aux conditions de fonctionnement et avec le catalyseur sélectionné, cette réaction n'est pas significative [5].

D. Alkylation

L'alkylation est une réaction de condensation qui ajoute une molécule d'oléfine sur un anneau aromatique. Cette réaction est favorisée par la fonction métallique du catalyseur, ne consomme pas d'hydrogène. Cependant, elle conduit à des molécules plus lourdes, ce qui peut

augmenter le point final du produit. De plus, les hydrocarbures à haute masse moléculaire ont une forte tendance à former du coke [5].

E. Transkylation (dismutation des alkyles)

Deux anneaux de toluène peuvent subir une réaction de dismutation pour donner un anneau de benzène et un anneau de xylène. Cette réaction, favorisée par la fonction métallique du catalyseur, se produit seulement en présence de conditions extrêmes de température et de pression. Elle est négligeable avec le catalyseur sélectionné et aux conditions de fonctionnement choisies [5].

F. Cokage

Le cokage fait référence au processus de dépôt de carbone solide sur le catalyseur ce qui réduit la surface de contact de ce dernier, cela entraîne une diminution de l'activité du catalyseur.

La formation du coke est favorisée par les hautes températures et les basses pressions, la raison pour laquelle le reformage catalytique exige une régénération en continu pour maintenir une faible teneur en coke.

II.2.7.7 Variables opératoires

II.2.7.7.1 Température

L'influence de la température dans le processus de CCR (Continuos Catalytique Reforming) est un aspect essentiel qui affecte les performances et la sélectivité des réactions catalytiques. La température optimale dans le CCR dépend des caractéristiques spécifiques du catalyseur utilisé et des objectifs de production, elle est dans la plage de 450°C à 550°C et généralement considérée comme favorable pour les réactions de reformage catalytique en raison de l'augmentation de la production des composés aromatiques à haute teneur en octane [6].

II.2.7.7.2 Pression

La pression peut avoir une influence importante sur le reformage catalytique en continu. En général, une augmentation de la pression peut favoriser la réaction de reformage, car cela augmente la concentration des réactifs et favorise la formation de produits. Cependant, une pression trop élevée peut également entraîner des effets indésirables, tels que la formation de coke sur les catalyseurs, qui peuvent réduire leur efficacité et nécessiter leur

remplacement plus fréquemment. Par conséquent, les conditions de pression optimales pour le reformage catalytique en continu dépendent de nombreux facteurs et doivent être soigneusement étudiées pour maximiser l'efficacité et minimiser les coûts.

II.2.7.7.3 Ratio H₂/HC

Le ratio H₂/HC Représente la proportion d'hydrogène pur (H₂) dans le gaz de recyclage (en mole/heure) par rapport aux hydrocarbures (HC) présents dans le débit d'alimentation (en mole/heure).

Ce ratio permet de savoir la quantité d'H₂ nécessaire pour que les réactions se produisent convenablement dans les réacteurs, il permet également de fixer la pression partielle d'hydrogène à une valeur suffisante pour prévenir le cokage du catalyseur [5].

Un ratio élevé de H₂/HC favorise la production d'hydrogène, tandis qu'un ratio plus faible conduit à une production relativement plus élevée de monoxyde de carbone.

II.2.8 Fonctionnement du CCR

Le procédé comporte deux sections :

- **Section réactionnelle** : le reformage catalytique du naphta, comprenant réacteurs, réchauffeurs, récupération de l'effluent et stabilisation.
- **Section régénération** : la circulation du catalyseur et la régénération continue mettant en jeu la technologie de manipulation de solides et de lit mobile.

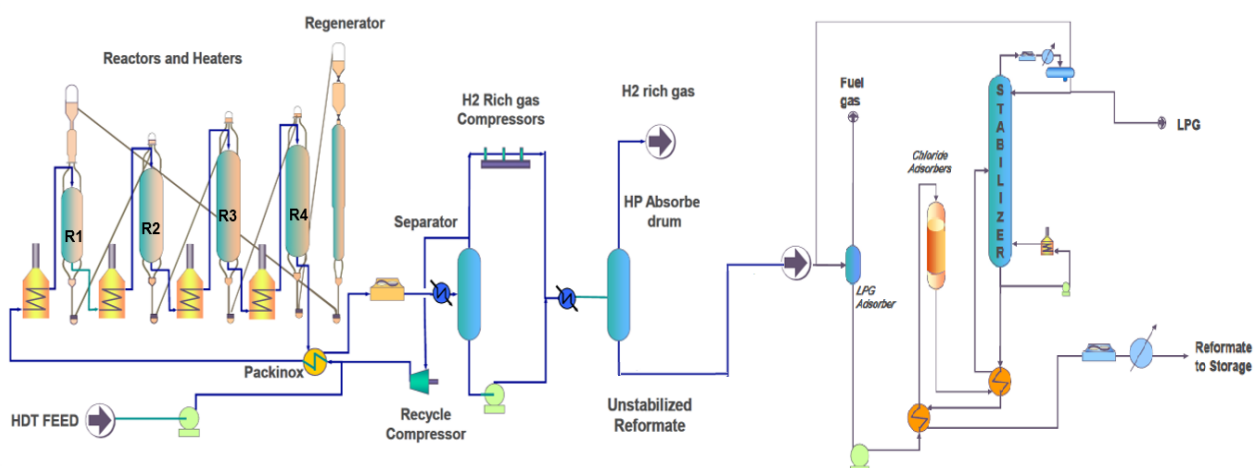


Figure II.4 : Schéma des différentes sections du procédé CCR [7].

II.2.8.1 Section réactionnelle

II.2.8.1.1 Section de réaction

L'unité de reformage catalytique est alimentée en naphta lourd hydrotraité provenant de l'unité NHT. On injecte de l'eau et un agent chlorurant pour obtenir des performances optimales du catalyseur, ainsi qu'un agent sulfurant en très faible quantité (concentration maximale admissible est de 0.5 ppm) qui sert à la protection des parois des réacteurs et à la diminution de dépôt du coke sur le catalyseur.

Après l'injection des produits chimiques, la charge passe par des filtres de charge pour la débarrasser des impuretés et éviter le colmatage des équipements avant d'être mélangé à l'hydrogène de recyclage provenant du compresseur de recyclage K-001 dans l'échangeur de chaleur E-001. La charge et l'hydrogène combinés sont préchauffés par l'effluent sortant du réacteur R-004, puis entre dans le four F-001 pour atteindre la température requise qui est d'environ de 520°C. Elle est ensuite envoyée dans les quatre réacteurs de R-001 à R-004. Les réactions dans les réacteurs étant essentiellement endothermique, la charge nécessite d'être chauffée avant chaque réacteur par les fours F-002, F-003 et F-004.

On obtient ainsi un reformat non stabilisé à la sortie du dernier réacteur R-004 qui sera refroidi successivement dans l'échangeur E-001 par la charge d'alimentation puis dans l'aéroréfrigérant EA-001 et le condenseur à eau E-002, ensuite envoyé dans le ballon séparateur D-001 pour le séparer de l'hydrogène et l'envoyé vers la section absorption par la pompe P-001. Une partie de l'hydrogène sera aspirer par le compresseur K-001 pour être réinjecté à la charge d'alimentation, l'autre partie quant à elle injecté de nouveau au reformat dans la section absorption.

II.2.8.1.2 Section compression et absorbeur

Cette section du processus se concentre sur le traitement du gaz de production d'hydrogène mélangé avec le flux gazeux d'hydrogène provenant de la section de régénération de l'unité CCR. À la fin de cette section, deux produits distincts sont obtenus. Tout d'abord, un gaz séparé à forte teneur en hydrogène est produit, ce gaz est utilisé dans différentes parties de l'installation, notamment dans l'unité d'hydrotraitement du naphta, la section de régénération de l'unité CCR et l'unité d'isomérisation. De plus, un liquide séparé est extrait du séparateur d'absorbeur. Ce liquide est ensuite acheminé sous contrôle de niveau vers les sections de récupération du GPL et de stabilisation.

II.2.8.1.3 Sections de récupération GPL et stabilisateur

Le but de cette étape est de récupérer la quantité maximale de GPL. Le reformat et le GPL issus de la section d'absorption sont mélangés avec le GPL provenant de la partie supérieure du ballon d'accumulation D-008. Ce mélange est aspiré par la pompe MP-002A/B, et passe ensuite à travers trois échangeurs de chaleurs E-008 A, B et C pour être réchauffée. Elle est ensuite débarrassée de ses dernières traces de chlorures dans le ballon adsorbant D-007 A/B. par la suite, le mélange entre dans le stabilisateur C-001.

Le courant de tête sortant du stabilisateur C-001 se compose de GPL à l'état gazeux, qui seront condensés dans le ballon D-008. Les vapeurs condensées issues de la partie inférieure du ballon est dirigées vers l'unité Gaz Plant, et une faible quantité réinjectée en tant que reflux de tête du stabilisateur.

Le reformat obtenu à la partir inférieur du stabilisateur est refroidi à travers trois échangeurs de chaleurs E-008 A, B et C ainsi que l'aéroréfrigérant EA-003 et un condenseur à eau E-010. Ensuite, il est envoyé vers le stocke.

Le rebouillage au fond du stabilisateur C-001 est assuré par le four F-005 à travers la pompe MP-004 A/B pour garantir l'équilibre thermique du stabilisateur.

II.2.8.2 Section régénération

La régénération du catalyseur dans une unité de reformage catalytique sert à restaurer les propriétés catalytiques du catalyseur épuisé, éliminer les impuretés et prolonger sa durée de vie lui permettant ainsi de continuer à fonctionner efficacement dans le processus de reformage en maintenant de cette façon un niveau de coke stable dans les réacteurs.

Au fil de la régénération, l'activité du catalyseur utilisé dans le CCR diminue progressivement, raison pour laquelle on procède à travailler dans des conditions sévères de températures afin de compenser cette baisse d'activité.

Dans le but d'assurer une bonne régénération du catalyseur, ce dernier subit différentes opérations qui sont les suivantes :

- ✓ Combustion du coke
- ✓ Oxychloration
- ✓ Calcination
- ✓ Refroidissement

✓ Réduction

Les trois premières étapes s'effectuent dans le régénérateur R-051, la quatrième étape dans la première trémie inférieure D-053 et la dernière étape dans la chambre de réduction D-061.

II.2.8.2.1 Régénérateur

A. Zone de stockage

C'est la zone en haut du régénérateur R-051 dans laquelle le catalyseur usé provenant de la trémie verrouillable D-052 est stocké. Elle est maintenue sous une légère surpression grâce à un faible flux d'azote en continu, ce qui empêche l'entrée du gaz de combustion qui est riche en oxygène. Pour éviter toute combustion incontrôlée et indésirable du coke. Le catalyseur usé s'écoule de cette zone vers la zone de combustion.

B. Zone de combustion

Elle se compose de deux lits radiaux (deux chambres de combustion) qui sont traversés par le gaz de combustion. A mesure que la réaction de combustion se déplace d'un lit à l'autre, la température et la concentration d'oxygène de ce gaz augmentent progressivement grâce aux injections effectués dans chaque lit pour alimenter la combustion. La température dans les deux lits est d'environ 480°C et la teneur en O₂ est de 0.8 mol. %

Un circuit de refroidissement rapide est prévu pour inclure l'injection d'une petite quantité de gaz de refroidissement entre les deux lits de combustion. Cette injection a pour effet de réduire la température à l'entrée du deuxième lit de combustion, assurant ainsi un contrôle approprié de cette température.

Si le catalyseur n'est pas totalement exempt du coke en bas du deuxième lit, le régénérateur R-051 sera automatiquement exploité en mode combustion incomplète (**Black burning**) dans lequel le catalyseur sera renvoyé dans les réacteurs qui peuvent fonctionner pendant une courte période dû à la présence d'un certain niveau de coke. Cela permet de maintenir la circulation du catalyseur tandis que les conditions de fonctionnement sont réglées pour retrouver un niveau de coke acceptable sur le catalyseur.

C. Zone d'Oxychloration / de calcination

Après la combustion du coke, le catalyseur s'écoule à travers un ensemble de 8 tuyaux pour atteindre un lit axial où se déroulent les réactions d'oxychloration et de calcination.

Dans la zone d'oxychloration, le gaz circule vers le haut et est composé du mélange de gaz de calcination et un gaz d'oxychloration introduit dans le lit d'oxychloration contenant une faible quantité d'agent de chloration et d'eau.

Les caractéristiques typiques de ce mélange sont :

- Une teneur en oxygène de 4 à 6% volumique
- Température de 510°C

Une fois l'Oxychloration terminée, le catalyseur continue de s'écouler vers la zone calcination. Le gaz de de calcination est introduit dans la partie inférieure du régénérateur et circule vers le haut. Ces caractéristiques sont :

- Une teneur en oxygène de 8 à 12% en volume.
- Température de 520°C.
- Faible teneur en eau (moins de 50 ppm).

Une différence de pression minimale est maintenue entre la zone de combustion et la zone d'Oxychloration / calcination afin d'empêcher le mélange du gaz d'Oxychloration riche en oxygène avec le gaz de la combustion.

D. Refroidissement du catalyseur

Le catalyseur situé au fond de la régénération R-051 est collecté par ensemble de 8 tuyaux qui descendent et s'écoulent vers la première trémie inférieure D-053. Ce processus se déroule sous une légère surpression d'azote afin d'empêcher l'entrée d'oxygène dans le système de lift à l'azote.

Les 8 tuyaux ne sont pas isolés pour permettre un refroidissement naturel du catalyseur par convection. Ensuite, le catalyseur passe de la première trémie inférieure D-053 au première pot de lift D-054 où il est élevé à l'aide d'un flux d'azote gazeux jusqu'à la première trémie supérieurs D-055 avant d'être introduit dans la chambre de réduction D-061.

E. Réduction du catalyseur

La réduction du catalyseur venant d'être régénéré est effectuée à l'intérieur de la chambre de réduction D-061. Cette opération peut être légèrement exothermique et la

température d'entrée est réglée pour avoir environ 480 °C en sortie de chambre de réduction.

Le gaz de réduction, riche en hydrogène, est produit dans la section de réaction et purifié dans l'unité de purification M-053 (membrane). Par la suite, il est préchauffé dans l'échangeur de réduction E-052. La température d'entrée de la réduction est précisément ajustée grâce au réchauffeur électrique de réduction E-061.

Après la réduction, l'effluent de réduction est divisé en deux courants. Le premier courant sert à préchauffer le gaz de réduction qui se dirige vers la chambre de réduction D-06 à l'intérieur de l'échangeur de réduction E-052. Le deuxième courant préchauffe le gaz provenant du système de lift et se dirige vers l'échangeur de gaz de lift à l'hydrogène E-051.

Les deux courants sont ensuite mélangés et renvoyés à la section de réaction, à l'entrée du réservoir tampon compresseur de gaz riche en H₂ D-002. Ensuite, le catalyseur est introduit dans le premier réacteur R-001.

II.2.8.2.2 Boucle de régénération

A. Gaz de combustion

Le gaz de combustion entre dans le régénérateur (520-R-051) tout en haut des tuyaux qui descendent (entre la zone de stockage et la zone de combustion) afin de préchauffer le catalyseur. Ce gaz s'écoule au travers du premier lit radial puis mélangé en sortie du premier lit de combustion avec de l'air et avec un gaz de refroidissement rapide pour régler à la fois la teneur en oxygène et la température à l'entrée du deuxième lit de combustion radial. Finalement, le gaz s'écoule par le deuxième lit de combustion de la même manière que dans le premier lit et quitte le régénérateur (520-R-051) [5].

B. Gaz de refroidissement rapide

Ce gaz froid est mélangé avec le gaz qui quitte le premier lit de combustion. Il est utilisé pour réguler la température d'entrée vers le deuxième lit de combustion [5].

C. Gaz d'Oxychloration/de calcination

- **Gaz de calcination :**

Ce gaz est mélangé à de l'air sec afin d'obtenir une teneur en oxygène de 8 à 12% en volume, puis réchauffé par un échangeur électrique de calcination. Ce qui permet de

contrôler la température en entrée du gaz de calcination, et enfin envoyé à la partie basse du régénérateur R-051, où il circule à flux ascendant [5].

- **Gaz de d'Oxychloration :**

Ce gaz a une teneur en oxygène de 0.8 mol. %. De l'eau est injectée dans ce gaz avant d'entrer dans l'échangeur électrique d'Oxychloration ce qui permet de contrôler la température. L'agent de chloration est injecté juste après le passage par l'échangeur d'Oxychloration et le contact est assuré au moyen d'un mélangeur statique, juste en aval du point d'injection. Pour finir, le gaz d'Oxychloration entre dans le régénérateur R-051 où il circule à flux ascendant [5].

Le gaz d'Oxychloration et le gaz de calcination sont mélangés dans le lit d'Oxychloration. L'effluent combiné est envoyé vers l'échangeur charge/effluent de calcination pour récupérer de la chaleur, puis il est mélangé à l'effluent de combustion avant d'être acheminé vers la section de lavage des gaz afin d'éliminer les composés chlorés [5].

II.2.8.2.3 Contrôle de la circulation du catalyseur

La circulation du catalyseur est assurée en continu au moyen d'un système de lift de gaz qui achemine le catalyseur du fond du régénérateur R-051 vers le haut du premier réacteur R-001, puis du fond de chaque réacteur vers le haut du réacteur suivant, et enfin du fond du dernier réacteur vers le haut du régénérateur. Le catalyseur s'écoule vers le bas par gravité à travers chaque lit de réacteur [5].

Il est fait appel à deux gaz de lift :

L'azote gazeux pour :

Lift 1, entre le régénérateur (520-R-051) et le premier réacteur (520-R-001) ;

Lift 5, entre le quatrième réacteur (520-R-004) et le régénérateur (520-R-051)

Du gaz riche en hydrogène dans la section de réaction, à savoir :

Lift 2, entre le premier (520-R-001) et le deuxième réacteur (520-R-002) ;

Lift 3, entre le deuxième (520-R-002) et le troisième réacteur (520-R-003) ;

Lift 4, entre le troisième (520-R-003) et le quatrième réacteur (520-R-004).

II.2.9 Equipements du procédé

Cette section fournit une brève description de certains éléments clés de l'équipement utilisé dans l'unité de reformage CCR de naphta.

II.2.9.1 Echangeur de chaleur « PACKINOX » (E-001)

C'est un échangeur à contre-courant (charge/effluent) installé verticalement dans lequel entre la charge de naphta hydrotraité par le bas et monte vers le haut avant de passer dans le premier four au même temps que le l'effluent chaud provenant du dernier réacteur qui s'écoule par le haut vers le bas. Voir la figure ci-dessous montrant l'échangeur :

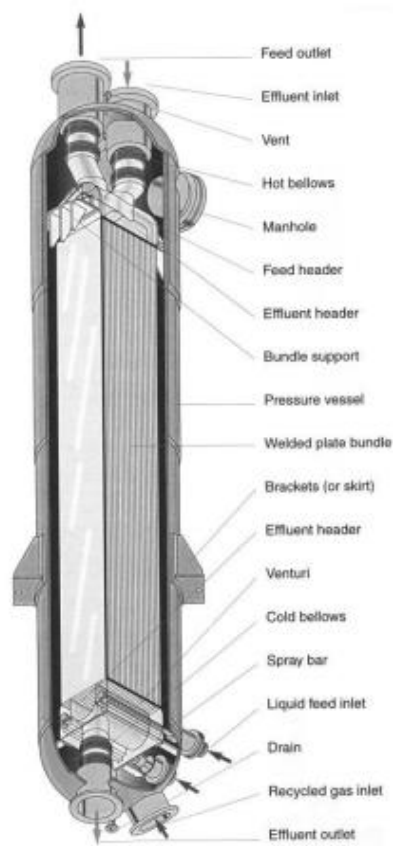


Figure II.5 : l'échangeur de chaleur PACKINOX [5].

II.2.9.2 Fours

La charge d'alimentation combinée et l'hydrogène recyclé sont maintenus à la température requise avant d'entrer dans le premier réacteur, et est attente dans le préchauffeur (Four) F-001. Était donné que les réactions sont principalement endothermiques, c'est-à-dire qu'elles nécessite de la chaleur. Pour que se produire. Pour répondre aux exigences de

température, des réchauffeurs intermédiaire F-002 /F-003/F-004 sont installés avant les trois autres réacteurs.

La Section de rayonnement du réchauffeur est composée de quatre cellules, avec le préchauffeur et le premier réchauffeur intermédiaire ayant des serpentins à deux feux, tandis que le deuxième et le troisième réchauffeur intermédiaire ont des serpentins à simple feu. Ce réchauffeur fonctionne avec un tirage naturel, et utilise le fuel gaz comme combustible Les tubes utilisés dans cette section sont en acier allier (9cr- 1 Mo), choisi pour sa résistance à la chaleur et à la corrosion [5].

II.2.9.3 Réacteurs

Les réacteurs utilisés ici ont la configuration d'un réacteur à flux radial, le gaz d'alimentation combiné étant acheminé radialement sur le lit catalytique en passant par des distributeurs en tôle perforée (dentelures) placés le long des parois de réacteur ou par les fentes d'un panier extérieur. Après avoir traversé le lit catalytique, le gaz effluent est collecté dans une tuyauterie centrale et acheminé vers la prochaine étape de réaction.

Le catalyseur s'écoule du haut du réacteur par le tuyau d'entrée catalyseur du réacteur 12, pour entrer dans le lit perforé du réacteur.

De même que les dentelures et les tuyauteries centrales, d'autres composants internes normalement présents dans les réacteurs à flux radial sont en principe : les tuyauteries d'entrée de catalyseur, le diffuseur d'alimentation, les chicanes de déflexion, les supports de tuyauteries centrales, les chapeaux coniques de tuyauterie centrale, les couvercles et les tuyauteries de transfert du catalyseur.

Tous les composants internes amovibles sont fabriqués en acier inoxydable, les composants internes fixes étant en acier allié. Le diffuseur d'alimentation sert à uniformiser le réglage du débit vers le lit radial. La tuyauterie centrale sert à retenir le catalyseur dans la zone de réaction et à recueillir et fournir les produits de réaction provenant d'un réacteur. Elle est constituée d'un tuyau perforé sur lequel un écran rainuré (filtre) est fixé par des joints de soudure. Le chapeau conique de la tuyauterie centrale sépare le catalyseur et le réactif dans la partie supérieure du lit. Les dentelures servent à régulariser l'entrée de réactif et à uniformiser la distribution sur le volume de réactif de l'appareil. Les anneaux d'expansion sont conçus pour détacher les dentelures à l'intérieur d'un réacteur.

Les quatre réacteurs de différentes dimensions sont disposés côte à côte. Cela présente plusieurs avantages par rapport aux réacteurs empilés. L'accès pour la construction, l'inspection, les futures modifications des réacteurs ainsi que pour les éléments internes au réacteur en est grandement amélioré [5].

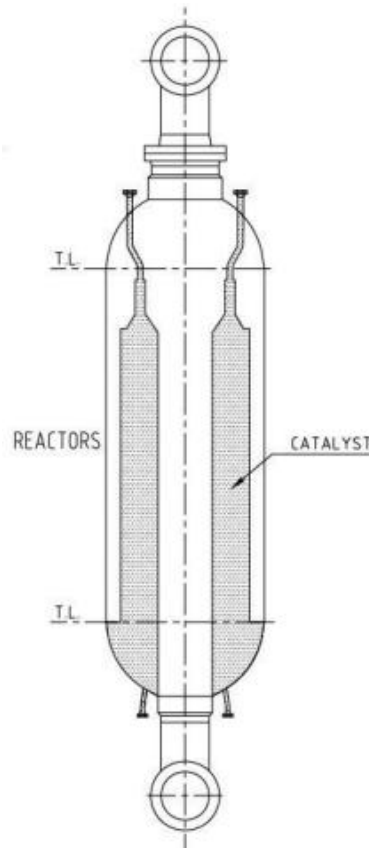


Figure II.6 : Schéma représentant le réacteur [5].

II.2.9.4 Compresseur de recyclage (K-001)

L'hydrogène de recyclage joue un rôle crucial dans le processus de reformage, en assurant la stabilité du catalyseur. Il élimine les produits de réaction et les substances condensables du catalyseur, tout en fournissant immédiatement de l'hydrogène réactif au catalyseur. Maintenir un flux constant de gaz de recyclage est essentiel lorsque la charge est appliquée à l'unité.

Un compresseur est nécessaire pour faire circuler le gaz à travers le circuit des réacteurs. Dans cette unité, un compresseur centrifuge entraîné par une turbine à vapeur est utilisé. La turbine (KT-001) est de type à condensation, où la vapeur HP est utilisée pour l'entraînement.

II.2.9.5 Compresseurs de gaz riche en H₂ (k-002 A/B)

Le compresseur de gaz riche en H₂ a pour fonction de comprimer le gaz à faible pression provenant de l'effluent des réacteurs et de l'élever. Cette pression élevée est nécessaire pour séparer l'hydrocarbure du gaz riche en H₂. Le compresseur est un dispositif à double action et à piston, doté de deux étages.

II.2.9.6 Adsorbent de chlorure de gaz riche en H₂ (D-006-A/B)

Avant d'acheminer le gaz riche en H₂ vers une autre unité, un adsorbent de chlorure est installé pour éliminer tout chlorure dissous provenant de la section de reformage. Cela vise à protéger les unités en aval des effets néfastes du chlorure. L'adsorbent fonctionne selon le principe d'avance/retard, permettant ainsi la suppression efficace du chlorure. La cuve de l'adsorbent est fabriquée en acier au carbone.

II.2.9.7 Stabilisateur (C-001)

Le rôle du stabilisateur est de réduire la fraction C₄ du reformat à moins de 1,0% en volume et la fraction de C₅₊ dans le GPL à moins de 1,0% en masse. Pour cela, la pression de la partie supérieure de la colonne est maintenue à environ 15 bar, et sa température est de 81°C dans des conditions normales. La pression de fonctionnement à la base de la colonne est de 15,3 bar avec une température de 241,9°C.

La charge est introduite sur le plateau 19, et la colonne compte au total 35 plateaux. Le stabilisateur est construit en acier au carbone.

II.2.9.8 Adsorbent de chlorure de la charge du stabilisateur (D-007- A/B)

Avant d'être introduit dans le stabilisateur, le reformat passe à travers un adsorbent de chlorure qui a pour but de retirer le HCl éventuellement présent, provenant de la section de réaction. Cette étape de suppression du chlorure repose sur le principe d'adsorption avance/retard. L'adsorbent utilisé est une cuve fabriquée en acier au carbone. Son fonctionnement permet d'éliminer efficacement le chlorure contenu dans la charge avant qu'elle ne soit traitée dans le stabilisateur.

II.2.9.9 Réchauffeur du stabilisateur (F-005)

Le réchauffeur du stabilisateur a pour fonction de chauffer le liquide situé au fond du stabilisateur. Pour cela, il est utilisé un réchauffeur à tirage naturel capable de brûler à la fois

des hydrocarbures et du gaz fuel. Ce réchauffeur permet d'atteindre la température requise pour assurer le traitement efficace du liquide dans le processus de stabilisation.

II.2.9.10 Réchauffeurs électriques

Les réchauffeurs électriques montés verticalement dans l'unité CCR utilisent des tubes en Incoloy 800 sans soudure pour chauffer le gaz de la boucle de régénération et le gaz H_2 aux températures requises pour les différentes réactions chimiques.

II.2.9.11 Régénérateur (R-051)

Le régénérateur est un dispositif utilisé dans le reformage catalytique en continu pour régénérer le catalyseur. Il est composé d'une chambre de capture où le catalyseur épuisé capture les contaminants du gaz de procédé. Une soupape de régulation de pression contrôle le débit de gaz et maintient une pression appropriée. Un système de chauffage fournit la chaleur nécessaire à la régénération du catalyseur, tandis qu'un système de régulation de température contrôle la température optimale. Un système de collecte des contaminants pour séparer et éliminer efficacement les contaminants et les dépôts de carbone désorbés du catalyseur. Un système de contrôle surveille et ajuste les paramètres du processus. Le régénérateur assure un fonctionnement efficace et prolonge la durée de vie du catalyseur dans le reformage catalytique en continu [5].

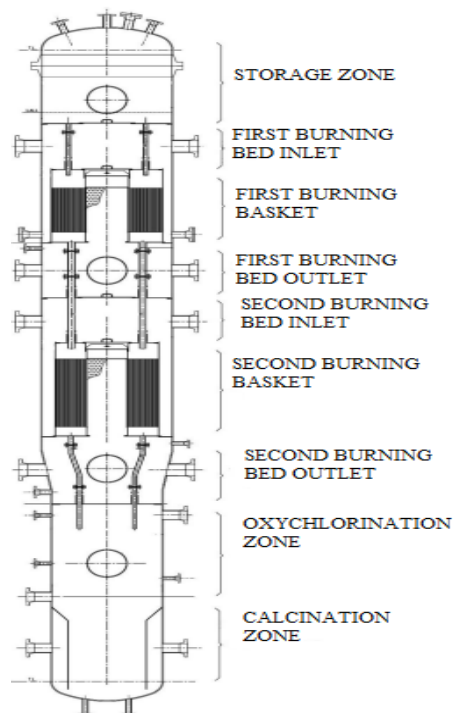


Figure II.7 : Schéma représentant le régénérateur [5].

II.2.9.12 Compresseurs de boucle de régénération (K-052 A/B)

Il s'agit d'un compresseur alternatif simple étage à double action et à piston, il augmente la pression du gaz de régénération à une pression de refoulement laquelle le gaz est expulsé du compresseur vers le régénérateur.

La pression de refoulement du compresseur doit être compatible avec les exigences de pression du régénérateur afin de garantir un fonctionnement efficace du système de régénération.

II.2.9.13 Unité de purification de H₂ (M-053)

Cette unité de production a pour fonction de purifier la charge d'hydrogène en utilisant une membrane séparatrice. Elle sépare l'hydrogène purifié (perméat H₂) qui est utilisé pour la réduction du catalyseur, tandis que les autres gaz indésirables sont rejetés et envoyés au circuit de fuel gaz. Cela permet d'obtenir une charge d'hydrogène de haute pureté (99%) pour le processus de réduction et d'éviter la présence de contaminants indésirables.

II.2.9.14 Trémie verrouillable (D-052)

La trémie verrouillable est un composant essentiel pour le transfert du catalyseur du réservoir tampon supérieur vers le régénérateur. Elle permet d'ajuster la pression et de constituer des lots de catalyseur automatiquement. Sa construction en acier au carbone assure la résistance et la durabilité nécessaires pour mener à bien cette opération.

II.2.9.15 Chambre de réduction (D-061)

La chambre de réduction est construite en utilisant un matériau d'enveloppe en acier allié (1,25 Cr - 0,5 Mo) pour assurer la résistance à la chaleur et à la corrosion. La température d'entrée est réglée pour obtenir une température de sortie d'environ 480 °C. La partie amovible de l'appareil est en acier inoxydable pour sa résistance à la corrosion.

II.2.9.16 Trémies supérieures (D-055/062/063/064)

Les trémies supérieures sont des réservoirs placés au sommet de chaque réacteur. Elles compensent les différences d'écoulement du catalyseur et protègent contre les variations de la fraction de vide dans les réacteurs. Les matériaux de construction utilisés sont principalement de l'acier allié (1,25 Cr - 0,5 Mo).

II.2.9.17 Trémies inférieures (D-053/ 071/ 072/ 073/ 074) et POTS DE LIFT (D-054/ 081/ 082/ 083/ 084)

Les trémies inférieures et les pots de lift sont situés en bas du régénérateur et de chaque réacteur. Ils assurent des fonctions clés telles que l'étanchéité, l'isolation et le transfert contrôlé du catalyseur. Le matériau de construction utilisé est de l'acier allié (1,25 Cr - 0,5 Mo) pour garantir une résistance et une durabilité appropriées.

II.2.10 Catalyseur

II.2.10.1. Définition

Le mot catalyse vient du grec "katalusis", qui implique une dissolution (kata-) (notion de bouleversement) et une destruction chimique (-lyse) [8].

Un catalyseur est une substance qui accélère la vitesse d'une réaction chimique en permettant aux réactifs de se convertir plus facilement en produits sans être consommé ou modifié de manière significative à la fin de la réaction. Il peut être soluble (catalyse homogène) ou bien insoluble (catalyse hétérogène) dans le milieu réactionnel. En général dans la catalyse hétérogène, le catalyseur est solide et la phase réactionnelle est soit liquide ou gazeuse.

II.2.10.2. Catalyseur du reformage catalytique (CCR)

Le catalyseur utilisé dans le reformage catalytique est un catalyseur bimétallique sous forme de billes formé de platine-étain sur un support d'alumine de grande pureté. Il est largement utilisé dans l'industrie pétrolière pour la production d'une essence de haute qualité à partir du naphta lourd.



Figure II.8 Illustration du catalyseur de CCR [7].

II.2.10.3. Activité, Sélectivité, Stabilité

- **Activité :** Fait référence à la prédisposition du catalyseur à accélérer les réactions chimiques mises en jeu, elle dépend de plusieurs facteurs, tels que la nature du catalyseur et sa composition, sa structure, sa surface active, ainsi que les conditions réactionnelles telles que la température et la pression. L'activité du catalyseur peut être mesurée par la vitesse de conversion des réactifs en produits, ce qui fait qu'une valeur élevée de cette dernière indique que le catalyseur est très efficace.
- **Sélectivité :** Désigne la capacité du catalyseur à favoriser des réactions chimiques spécifiques c.-à-d. diriger la réaction vers un produit particulier tout en limitant la formation des produits non souhaités.
- **Stabilité :** Définie comme la capacité du catalyseur à maintenir son activité catalytique dans des conditions de réactions données pendant une période de temps prolongée. C'est surtout le dépôt de coke qui affecte la stabilité, par son inhibition de l'acidité du catalyseur et la diminution de la surface de contact métallique. La stabilité se mesure en général par la quantité de charge traitée par masse unitaire de catalyseur (c'est-à-dire en m³ de charge par kg de catalyseur) [5].

II.2.10.4. Caractéristique du catalyseur

Les principales caractéristiques du catalyseur sont [5] :

- Support d'alumine haute pureté présentant une forte résistance à l'attrition.
- Stabilité et sélectivité élevées du fait du platine associé à d'autres métaux (Promoteurs)
- Régénérabilité élevée, idéale pour les opérations de régénération en continu
- Forte rétention des chlorures.

L'association des qualités mentionnées ci-dessus et de la régénération en continu procure les avantages suivants [5] :

- Rendement de reformat élevé
- Rendement d'hydrogène élevé
- Coefficient en service élevé
- Longue durée de vie
- Faible stock de catalyseur

- Faibles coûts d'exploitation.

II.2.10.5. Mécanisme du catalyseur

Le catalyseur favorise les différentes réactions chimiques qui se produisent lors du procédé de CCR par ses deux fonctions différentes : fonction acide et fonction métallique.

En résumé, les réactions principales impliquées dans les procédés de reformage sont principalement catalysées soit par le support, soit par les fonctions métalliques, comme cela est expliqué ci-dessous :

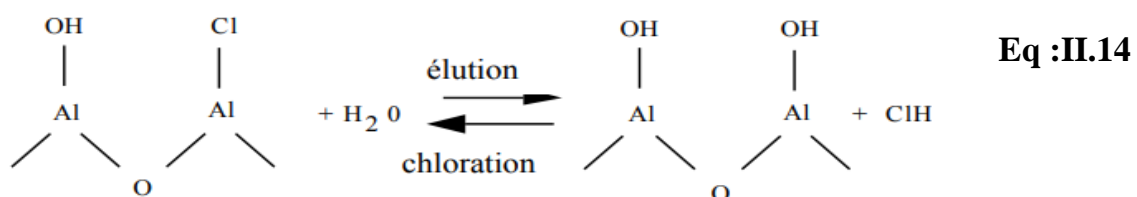
- **Fonction métallique** : Déshydrogénation et Hydrogénolyse.
- **Fonction acide** : isomérisation.
- **Fonction acide + Fonction métallique** : Hydrocraquage et déshydrocyclisation.

II.2.10.5.1 Fonction acide

La fonction acide est apportée par le support alumine. Cette fonction fait référence à la capacité du catalyseur à catalyser des réactions acides, telles que les réarrangements de structure moléculaire (de linéaire à cyclique, par exemple) qui impliquent une réorganisation des liaisons carbone.

L'acidité du catalyseur dépend de la quantité de chlore fixée sur le catalyseur à la fabrication. En fonctionnement, la teneur en chlore du catalyseur varie en fonction de l'humidité du gaz de recyclage et de l'éluion à l'eau du chlore, ce qui se produit surtout pendant l'étape de combustion du coke, en raison de la formation d'eau de combustion. C'est pourquoi ce niveau doit être ajusté pendant l'Oxychloration et maintenu dans une plage comprise entre 0,9 % à 1,1 % en masse [5].

La structure chimique du support de catalyseur et les procédés de chloration et d'éluion du chlore à l'eau peuvent se représenter de la façon simplifiée suivante :



Le bon niveau d'acidité du catalyseur est contrôlé par l'équilibre entre H_2O et HCl . Un excès d'eau dans le gaz de recyclage décalera l'équilibre en direction d'un excès de liaisons -OH, ce qui a pour conséquence une réduction de l'activité. Inversement, si la quantité d'eau dans le gaz de recyclage est trop faible (cas peu fréquent), l'équilibre entre -OH et -Cl se décale en direction de -Cl, le catalyseur est alors surchloré, ce qui signifie que sa fonction acide est exacerbée (tendance à l'hydrocraquage).

II.2.10.5.2 Fonction métallique

La fonction métallique du catalyseur platine-étain dans le processus de reformage est étroitement liée aux caractéristiques du catalyseur lui-même, telles que la composition, la dispersion des métaux, la surface active et la stabilité thermique.

Le platine, en tant que composant du catalyseur, joue un rôle clé dans la promotion des réactions de reformage. Il agit comme un catalyseur de craquage et favorise la rupture des liaisons moléculaires des hydrocarbures plus lourds, favorisant ainsi la formation de composés plus légers. L'étain, quant à lui, agit en tant que modificateur de la surface catalytique. Il aide à augmenter la dispersion du platine sur le support d'alumine, favorisant ainsi l'activité catalytique et améliorant la sélectivité des réactions de reformage.

II.2.10.6 Contaminants du catalyseur

Dans le but d'éviter tout empoisonnement du catalyseur, on doit assurer la suppression des contaminants dans la charge d'alimentation de l'unité de reformage par l'unité d'hydrotraitement.

Les contaminants du catalyseur sont classés en deux catégories : les poisons temporaires (parfois également appelés inhibiteurs) et les poisons permanents. Les poisons temporaires sont ceux qui peuvent être éliminés du catalyseur sans couper l'installation et pour lesquels l'activité propre du catalyseur et sa sélectivité sont rétablies une fois que le contaminant disparaît. Les poisons temporaires les plus courants (inhibiteurs) de catalyseurs de reformage sont *le soufre, l'azote organique, l'eau et les composés organiques oxygénés, les halogènes*. Les poisons permanents sont ceux qui induisent une perte d'activité qui ne peut pas être compensée, même avec une régénération, si grave que le catalyseur doit être remplacé. Les principaux poisons permanents sont *l'arsenic, le plomb, le cuivre, le fer, le nickel, le chrome, le mercure, le sodium, le potassium*.

Références bibliographiques

- [1] J. Stellman, Encyclopédie de sécurité et de santé au travail, Vol 3, International Labour Organisation, Genève, 2002.
- [2] S. Belgour, R. Benbelkhir, « étude de la performance de l'unité de reformage catalytique à régénération en continu CCR de la raffinerie d'Alger », Mémoire de master 2 en Raffinage, U.M.B.B, 2021.
- [3] J. Laxalde, « Analyse des produits lourds du pétrole par spectroscopie infrarouge » Thèse de doctorat en optique et lasers physico-chimique, Université de Lille 1, France. 2012.
- [4] Documentation de la raffinerie d'Alger « manuelle opératoire U500 unité d'hydrotraitement du naphta », 2021.
- [5] Documentation de la raffinerie d'Alger « manuelle opératoire U520 unité CCR de reformage du naphta », 2021.
- [6] F. Guo, L. Li, J. Xiao, « Catalytic reforming of gasoline range hydrocarbons over Pt/HZSM-5 catalysts: Influence of reaction conditions », Applied Catalysis A, 397(1-2), 1-7, 2011.
- [7] Documentation de la raffinerie d'Alger, département MS-BLOCK, service CCR, présentation final CCR, 2021.
- [8] Documentation de la raffinerie d'Alger Séminaire catalyseur ; catalyseurs hétérogène pour l'industrie du raffinage et de pétrochimie, 2022.

Chapitre III : Protocole expérimental et discussion des résultats

La partie expérimentale de notre travail consiste à effectuer des analyses physico-chimiques (spectroscopie IR, distillation ASTM ...) aux échantillons (naphta lourd et reformat) prélevés à la raffinerie d'Alger. Ensuite, nous examinerons et discuterons les résultats obtenus.

III.1 Prélèvements des échantillons

Au niveau de la raffinerie d'Alger, les prélèvements d'échantillons sont programmés de manière régulière par le personnel autorisé connaissant la procédure à suivre. Les gants en caoutchouc et les masques de protection sont nécessaires pour le prélèvement des échantillons. Les analyses sont ensuite réalisées au sein de laboratoire de contrôle de qualité au niveau de la raffinerie.

III.2 Techniques de caractérisation

III.2.1 Spectroscopie infrarouge (IR)

III.2.1.1 Définition

La spectroscopie infrarouge (IR) est une technique d'analyse qui permet d'étudier les interactions entre la lumière infrarouge et la matière. Elle mesure les absorptions d'énergie infrarouge spécifiques des molécules, ce qui permet d'identifier et de caractériser les composés chimiques, ainsi que leurs structures.

III.2.1.2 Principe

Le principe de la spectroscopie infrarouge est basé sur l'absorption d'énergie infrarouge par les molécules. Lorsqu'une molécule absorbe de l'énergie infrarouge elle subit une vibration qui est spécifique à sa structure chimique. Cette vibration est mesurée pour obtenir un spectre infrarouge qui fournit des informations sur les composants chimiques et la structure de l'échantillon.

III.2.1.3 But de l'analyse

Ce travail consiste à évaluer la différence en composition chimique entre deux carburants différents : le naphta lourd qui présente le réactif et le reformat qui est le produit par la détermination des fonctions chimiques de chaque échantillon.

III.2.1.4 Matériels et produits utilisés

- Un spectromètre infrarouge FTIR « IRPrestige-21 SHIMADZU FOURIER INFRARED SPECTROPHOTOMETERRE »
- Cellule d'échantillonnage (Cellule KBr : Bromure de potassium)
- 1^{er} échantillon : Naphta lourd
- 2^{ème} échantillon : Reformat

Le spectromètre FTIR utilisé pour cette étude est couplé à différents modules :

- Un compartiment échantillon qui peut recevoir les accessoires de chaque mode de FTIR
- Un ordinateur, en interface avec le spectromètre IRTF, permet la commande des mesures et le traitement numérique des spectres [1].



Figure III.1 : Illustration du spectromètre de FTIR « SHIMADZU »

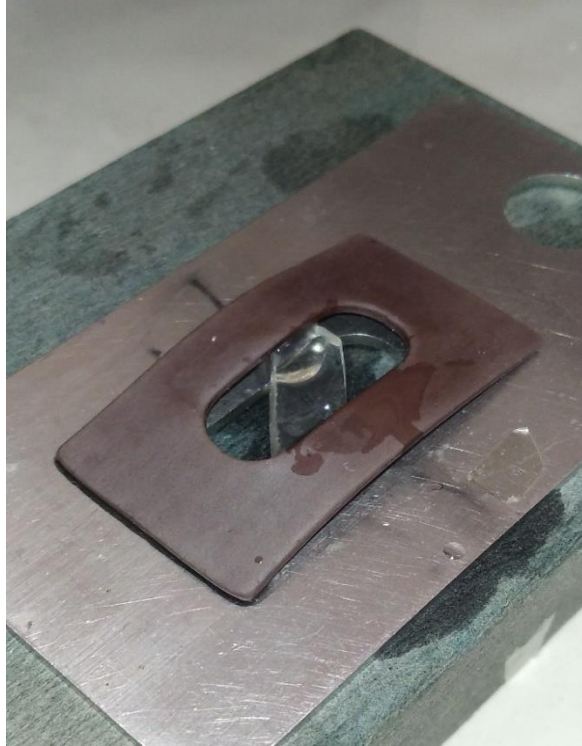


Figure III.2 : Illustration de la cellule d'échantillonnage KBr.

III.2.1.5 Mode opératoire

Pour chacun des échantillons on applique les étapes suivantes :

- On place une petite goutte de l'échantillon entre les deux disques de la cellule KBr et presser les deux disques pour former une fenêtre optique.
- Allumer le spectromètre infrarouge et le configurer pour choisir la plage de longueurs d'ondes
- Placer la cellule d'échantillonnage dans le spectromètre infrarouge et acquérir les données pour obtenir les spectres

III.2.2 Distillation ASTM

III.2.2.1 Définition

La distillation ASTM fait référence à la méthode de distillation normalisée développée par l'American Society For Testing And Materials (ASTM). Elle est utilisée pour caractériser les propriétés de la distillation des produits pétroliers et chimiques conformément aux normes établies par l'ASTM.

III.2.2.2 Principe

Le principe de la distillation ASTM repose sur la séparation des composants d'un mélange liquide en chauffant l'échantillon et en collectant les fractions volatiles qui s'évaporent à des

températures spécifiques. Cette méthode est conçue pour mesurer la plage de température de l'ébullition initiale et finale d'un produit pétrolier.

- Le point initial (**PI**) : fait référence à la température à laquelle apparait la première goutte du condensat.
- Le point final (**PF**) : fait référence à la température maximale atteinte au cours de l'essai.

III.2.2.3 Mode opératoire

Dans cette analyse un distillateur de marque HERZOG OPTIDIST est utilisé.



Figure III.3 : Illustration du distillateur HERZOG OPTIDIST [2].

On suit les étapes suivantes :

- Verser l'échantillon dans une éprouvette de 100 ml
- Dans un ballon de 125 ml on met quelque grain de pierre ponce pour réguler l'ébullition ensuite on verse notre solution
- On place le ballon sur la plaque en verre
- L'éprouvette graduée utilisée au départ est placée sans être séchée à la sortie du tube de Condenseur
- Immédiatement après avoir observé le point initial, régler le chauffage afin que le volume de condensat recueilli dans l'éprouvette augmente de façon uniforme

- Entre le point initial et le point final noter les températures correspondantes aux volumes de condensat
- Noter le point final et arrêter le chauffage [3].

III.2.3 Densité

III.2.3.1 Définition

La densité d'une substance est le rapport de sa masse volumique à la masse volumique d'un corps de référence spécifique. Pour les liquides, le corps de référence couramment utilisé est l'eau, tandis que pour les gaz, c'est l'air.

III.2.3.2 Principe

Le principe de la densité repose sur le fait que la masse d'un objet ou d'une substance reste constante, tandis que son volume peut varier. Ainsi, la densité est une mesure qui permet de caractériser la compacité de la matière, en indiquant combien de masse est présente dans un certain volume.

III.2.3.3 Mode opératoire



Figure III.4 : Densimètre automatique ISL VIDA [2].

- Nettoyer la cellule de l'appareil en injectant à l'aide d'une seringue 5 ml de l'échantillon afin de se débarrasser des impuretés
- Remplir la seringue de l'échantillon une deuxième fois et retirer les bulles d'Air de la seringue
- Réinjecter 10 ml de l'échantillon dans l'appareil
- Appuie sur démarrer
- La valeur est affichée en gramme par litre à 15°C [3].

III.2.4 TVR

III.2.4.1 Définition

La tension de vapeur Reid, également connue sous le nom de pression de vapeur Reid, est une mesure de la volatilité d'un liquide. Elle est utilisée pour évaluer la tendance d'un liquide à s'évaporer ou à passer de l'état liquide à l'état gazeux à une température donnée

III.2.4.2 Principe

Le principe de la tension de vapeur Reid repose sur la mesure de la pression exercée par la vapeur d'un liquide à une température spécifique. Cette mesure permet d'évaluer la volatilité du liquide, c'est-à-dire sa tendance à s'évaporer et à se transformer en gaz. Une tension de vapeur Reid élevée indique que le liquide a une forte tendance à s'évaporer rapidement. Elle est utilisée pour évaluer la sécurité, le stockage, la manipulation et le transport des liquides inflammables ou volatils.

III.2.4.3 Mode opératoire



Figure III.5 : Appareil de mesure de la TVR STANHOP SETA [2].

Afin de réaliser cette analyse, on suit les étapes suivantes :

- Refroidir l'échantillon (reformat) et la chambre à carburant
- Noter la température à l'intérieur de la chambre à air
- Remplir la chambre à carburant avec reformat et l'insérer avec une chambre à air
- Tenir l'appareil sent dessus et l'agiter de haut en bas
- Placer l'appareil dans un bain d'eau thermostaté à 37,8°C (100°F).

- Après immersion pendant cinq minutes, tapoter légèrement le manomètre et effectuer la lecture
- Retirer l'appareil du bain, le renverser, l'agiter vigoureusement et le remplacer aussi rapidement
- Répéter cette opération au moins 5 fois à intervalle d'au moins 2 min jusqu'à ce que 2 lectures consécutives soient constantes [4].

III.2.5 Teneur en eau

III.2.5.1 Définition

La teneur en eau fait référence à la quantité d'eau présente dans un matériau ou une substance donnée. Elle est exprimée en pourcentage et représente la proportion d'eau par rapport au poids total ou au volume du matériau.

III.2.5.2 Principe

La détermination de l'eau par Karl Fisher consiste à faire réagir l'eau avec l'iode et le dioxyde de soufre en présence de méthanol et une base [3].

III.2.5.3 Mode opératoire



Figure III.6 : Appareil de Karl Fisher type Methler [2].

Pour déterminer la teneur en eau d'une substance, on suit généralement les étapes suivantes :

- Injecter à l'aide d'une seringue une masse déterminée d'échantillon dans la cellule de l'analyseur Karl Fisher
- Appuyer sur « Start »
- Une valeur de la teneur en eau s'affiche en ppm [3].

III.3 Discussion des Résultats

III.3.1 Interprétation des spectres infrarouge obtenus

L'analyse par spectroscopie à transformé de Fourier infrarouge a été réalisée pour identifier les principaux groupements fonctionnels des échantillons à analyser en utilisant les tables disponibles dans la littérature [5,6].

A. Naphta lourd

La figure III.7 présente le spectre FT-IR de naphta lourd enregistré dans le domaine situé entre 400-4000 cm^{-1} .

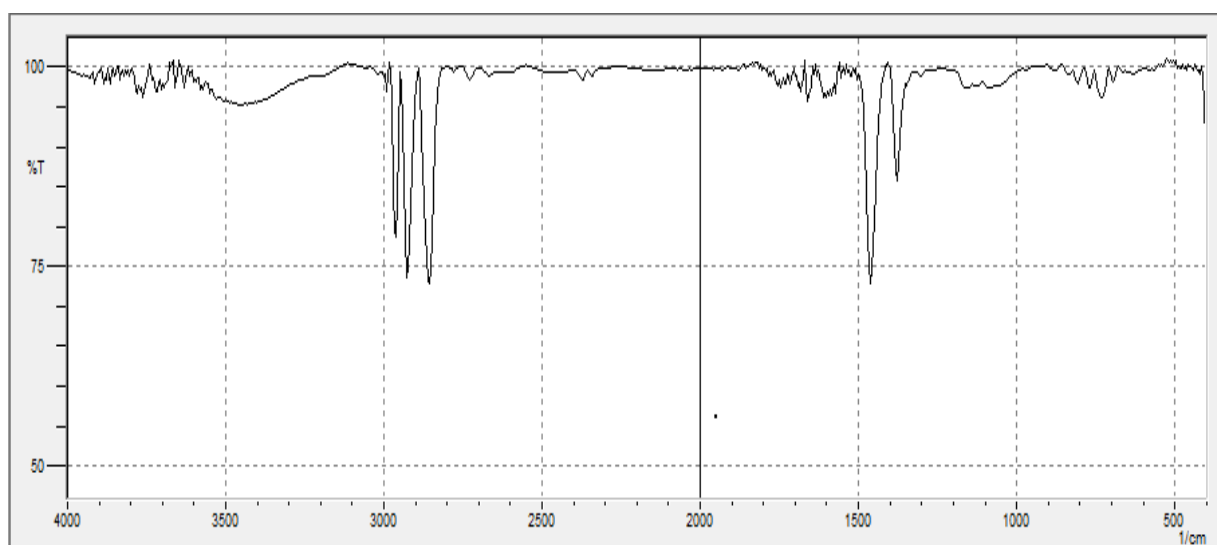


Figure III.7 : Spectre FT-IR de naphta lourd dans la région 400-4000 cm^{-1} .

Les pics situés entre 2833 cm^{-1} et 2976 cm^{-1} correspondent à la présence de groupement fonctionnel du C-H aliphatique, les pics enregistrés à 1374 cm^{-1} et 1460 cm^{-1} indiquent la présence des C-H correspondant au groupement méthyle. Les autres pics compris entre 684 cm^{-1} et 731 cm^{-1} indiquent la présence de la molécule du benzène [7].

B. REFORMAT

La figure III.8 ci-dessous représente le spectre FT-IR de reformat enregistré dans la région entre 400-4000 cm^{-1} .

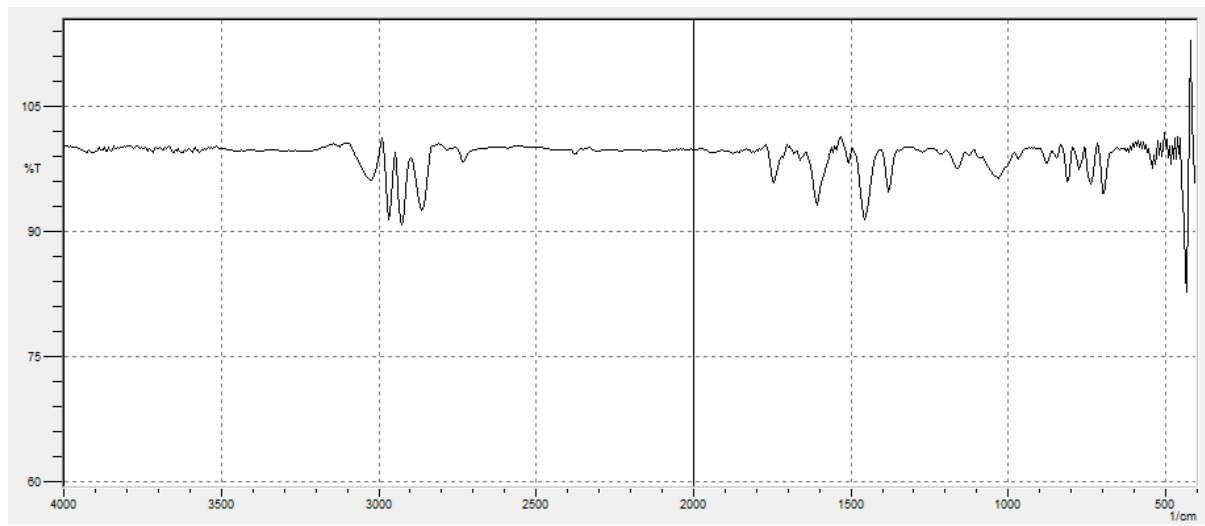


Figure III.8 : Spectre FT-IR de reformat dans la région 400-4000 cm^{-1}

Le pic situé à 688 cm^{-1} indique la présence des groupements C-Cl chlorures d'alkyles, le pic à 1456 cm^{-1} indique la présence des groupements fonctionnels C=C aromatiques. Les autres pics compris entre 688 et 1456 cm^{-1} indiquent la présence de la molécule du benzène [7].

III.3.2 Interprétation des résultats physico-chimiques (densité, distillation ASTM, teneur en eau et TVR) du naphta lourd et du réformat

Le tableau III.1 ci-dessous regroupe les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur le naphta lourd et le reformat issu de reformage catalytique en continu (CCR).

Tableau III.1 : Résultats des analyses physico-chimiques des échantillons : naphta lourd et le reformat.

Caractéristiques		Naphta lourd	Reformat
Densité d_4^{20}		0.740	0.827
Distillation ASTM	PI	103	45
	PF	175	205
Teneur en eau (ppm)		3.62	12.1
La TVR (g/cm^2)		----	205

D'après les résultats du Tableau III.1, on remarque que les valeurs de la densité et de la distillation ASTM (PI et PF) confirment que le reformat issu du reformage catalytique est transformé en une fraction plus lourde en raison de la formation des groupements aromatiques. D'autre part la teneur en eau dans la charge d'alimentation naphta lourd) est dans la norme (NORME : max 4ppm). On constate que la TVR du reformat est élevée ce qui indique une plus grande proportion de composés volatils qui s'évaporent facilement tels que les aromatiques.

Références bibliographiques

- [1] X. MONTAGNE. « Carburants liquides : gazoles, jets fuels et autres distillats moyens », Techniques de l'ingénieur, BE 8 545 v2, 2011.
- [2] K. Benmouhoub, S. Bensidhoum, « Essences sans plomb : Procédés de production et l'effet de l'ajout de MTBE sur l'indice d'octane –Raffinerie d'Alger », Mémoire de Master 2, en Génie Chimique, U. A. Mira-Bejaia, 2022.
- [3] M. Dupuy, Opération Manuel « Procèdes en raffinage et pétrochimie hydrocarbure et Produit pétrolière », Algérie, 2015.
- [4] Book of ASTM standard Section 5, 2009.
- [5] B. Stuart, «Infrared spectroscopy, Fundamentals and applications», John Wiley & Sons, Ltd ISBNs ,2004.
- [6] L. Guenoun, A. El hajji, « Technique spectroscopique d'analyse », Cours utilisé dans le module SMC5, Univ Mohammad V, 2014.
- [7] A. Rajasekar, S. Maruthamuthu, N. Muthukumar, S. Mohanan, P.Subramanian, & N.Palaniswamy, « Bacterial degradation of naphtha and its influence on corrosion », Corrosion science, vol 47, 2005.

Conclusion

Les objectifs de notre travail consistent d'une part à étudier le processus de reformage catalytique en continu (CCR) du naphta lourd et d'autre part à caractériser le reformat obtenu après le reformage du naphta lourd par l'analyse spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FT-IR) et par les analyses physico-chimiques au sein des laboratoires de la raffinerie d'Alger.

Au terme de ce travail, nous avons tiré les conclusions suivantes :

Les résultats de l'analyse spectrophotométrie infrarouge à transformée de Fourier (FT-IR) ainsi que les résultats des analyses physico-chimiques ont révélé la présence des composés aromatiques dans le reformat obtenu à partir de reformage du naphta lourd.

Le procédé du reformage catalytique du naphta lourd apparait un excellent rendement en améliorant le nombre d'octane en transformant les paraffines et les naphènes en aromatiques. Il joue un rôle crucial dans la réduction des émissions de polluants atmosphériques en permettant une combustion plus propre et plus efficace des carburants, améliorant ainsi la qualité de l'air et la durabilité environnementale.

Résumé

Notre travail se focalise sur la production de reformat issu du reformage catalytique en continu (CCR) du naphta lourd réalisée à la raffinerie de Sidi Rcine Baraki d'Alger, dans le but de fabriquer une essence moins polluante avec un indice d'octane élevé. Pour maintenir cette caractéristique, nous avons mis en œuvre diverses stratégies.

Initialement, le reformat est dérivé du naphta lourd, provenant de l'unité d'hydrotraitement, qui a pour objectif de purifier le naphta extrait du processus de distillation du pétrole en éliminant les impuretés et en le fractionnant en naphta léger et lourd. Le naphta léger est acheminé vers l'isomérisation, où les n-pentanes et n-hexanes sont transformés en isomères à haut indice d'octane. Parallèlement, le naphta lourd est dirigé vers le reformage catalytique en continu. Cette technique, réalisée de manière ininterrompue, implique des réactions de déshydrogénation des naphènes et de déshydro-cyclisation des paraffines, visant à produire des composés aromatiques bénéficiant d'un indice d'octane élevé. Ces procédés combinés assurent la production d'une essence répondant aux normes environnementales, tout en optimisant les performances des moteurs automobiles.

Mots clés : Indice d'octane, Naphta, Hydrotraitement, Isomérisation, Reformage catalytique, pétrole, Reformat.

Abstract

Our research focuses on the production of reformat derived from the Continuous Catalytic Reforming (CCR) process of heavy naphtha carried out at the Sidi Rcine Baraki refinery in Algiers, aiming to produce a less polluting gasoline with a high octane rating.

To maintain this characteristic, we have implemented various strategies. Initially, reformat is derived from heavy naphtha, sourced from the hydrotreating unit, which aims to purify naphtha extracted from the petroleum distillation process by removing impurities and fractionating it into light and heavy naphtha. The light naphtha is directed to isomerization, where n-pentanes and n-hexanes are transformed into isomers with a high octane rating. Simultaneously, the heavy naphtha is directed to continuous catalytic reforming. This uninterrupted process involves reactions of naphthene dehydrogenation and paraffin dehydro-cyclization, aiming to produce aromatic compounds with a high octane rating. These combined processes ensure the production of gasoline meeting environmental standards while optimizing automotive engine performance.

Keywords: Octane rating, Naphtha, Hydrotreating, Isomerization, Continuous catalytic reforming, Petroleum, Reformate.