

République algérienne démocratique et populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
Université A. Mira de Bejaia



Faculté de Technologie  
Département de Génie des procédés

# Mémoire

## EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE Master

Domaine : Science et Technologie Filière : Génie des Procédés  
Spécialité : Génie chimique

Présenté par

BOUSTA Youghourta

*Thème*

Etude du procédé de craquage catalytique de la raffinerie d'Alger  
(RFCC)

Soutenue le 04/07/2023

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom		
Mme HATTOU Aziza	Université de Bejaia	Présidente
Mme BELAID Taous	Université de Bejaia	Examinatrice
Mme ZAIDI Lynda	Université de Bejaia	Encadrante
Mme TAKORABET Lynda	Université de Bejaia	co-encadrante

Année Universitaire : 2022/2023

**République algérienne démocratique et populaire**  
**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**  
**Université a. Mira de Bejaia**



**Faculté de Technologie**  
**Département de Génie des procédés**

**Mémoire**  
**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE**  
**Master**

**Domaine : Science et Technologie Filière : Génie des Procédés**  
**Spécialité : Génie chimique**

**Etude du procédé de craquage catalytique de la raffinerie d'Alger**  
**(RFCC)**

**Résumé**

Le craquage catalytique est un procédé important dans les raffineries modernes et toute amélioration des opérations et de la conception de l'unité pour augmenter le rendement est toujours en demande. En se concentrant sur cette technique clé, le document explore en détail les aspects opérationnels de la raffinerie, mettant en lumière les équipements spécifiques, les conditions opératoires, les types de catalyseurs utilisés, et d'autres paramètres essentiels liés au procédé RFCC. L'objectif principal est de fournir une compréhension approfondie du fonctionnement de ce procédé au sein de la raffinerie d'Alger. En analysant les détails techniques, le document offre des perspectives sur les avantages et les défis associés au RFCC, contribuant ainsi à l'enrichissement des connaissances dans le domaine du raffinage pétrolier et à l'amélioration de cette technologie cruciale dans le contexte spécifique de la raffinerie d'Alger.

**Mots clés:** craquage, régénérateur, zéolithe, réacteur.

**Etudiante :**

Bousta youghourta

**Encadreur :**

Mme Zaidi Lynda

**Année Universitaire : 2022/2023**

## **Remerciements**

J'exprime ma gratitude à ma promotrice madame ZAIDI Lynda qui par l'effort fourni, sa disponibilité et ses conseils prodigués, sa rigueur scientifique, elle m'avait énormément aidé lors des phases d'élaboration et du suivi de ce mémoire.

Mes remerciements vont aussi à monsieur BENTALEBE chef du service de l'unité RFCC et à toute l'équipe du contrôle CCR pour leur attention particulière, leur compréhension et les moyens mis à ma disposition pour la réussite de ce modeste travail.

Je tiens à remercier également l'ensemble des membres du jury pour avoir accepté d'examiner mon travail.

Ma gratitude à tous les enseignants du département du génie des procédés qui nous ont encadrés durant notre cycle universitaire.

Je remercie aussi Messieurs Hicham Cherigui pour sa gentillesse et son esprit coopératif avec le personnel et les étudiants.

Enfin, j'adresse mes remerciements à mes parents, mes frères et sœurs, à mes amis, pour leur soutien et leur contribution à la réalisation de ce travail.

# Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes parents, qui m'ont encouragé tout au long de mes études.

Aucun mot ne pourrait exprimer l'affection que j'ai pour eux.

Mes frères et mes sœurs pour leur soutien et leur respect.

Tous mes camarades, mes amis et ceux qui m'aiment.

Youghourta

## Liste des figures

---

### **Chapitre I : Description de la raffinerie d'Alger**

Figure I.1 : Schéma bloc d'un exemple d'une raffinerie simple.....	03
Figure I.2 : Schéma bloc d'un exemple d'une raffinerie complexe.....	04
Figure I.3 : Schéma bloc d'un exemple d'une raffinerie ultra complexe.....	04
Figure I.4 : Raffinerie d'Alger.....	06
Figure I.5 : Schéma des procédés de raffinage.....	08

### **Chapitre II : Généralités sur le craquage**

Figure II.1 : Réacteur –régénérateur FCC.....	21
Figure II.2 : Schéma technologique d'une unité de craquage catalytique à lit fluidisé.....	23
Figure II.3 : Schéma générale d'une unité de craquage catalytique.....	29
Figure II.4: Structure générale d'une zéolithe.....	33
Figure II.5: Schéma de la composition des catalyseurs de FCC et de leur fonction.....	36

### **Chapitre III : Description du procédé de résidu fluidisé du craquage catalytique**

Figure III.1: Schéma du procédé RFCC.....	38
Figure III.2 : Unité de craquage catalytique section réacteur-régénérateur.....	41
Figure III.3: Dispositif d'un réacteur.....	42
Figure III.4 : Régénérateur à chambre de combustion.....	46
Figure III.5 : Section de fractionnement.....	50

## Liste des tableaux

---

### **Chapitre I : Description de la raffinerie d'Alger**

Tableau I.1 : Produits de la distillation atmosphérique du pétrole brut et leurs destinations...	09
Tableau I.2 : les produits et le Point de fractionnement TBP (°C) de l'unité RFCC.....	11
Tableau I.3 : Les Conditions à la limite de zone de l'unité RFCC.....	12
Tableau I.4 : Parc de stockage et capacité en m <sup>3</sup> .....	14

### **Chapitre II : Généralité sur le craquage**

Tableau II.1 : craquage des paraffines.....	25
Tableau II.2 : Principales réactions des différentes familles d'hydrocarbures en craquage catalytique.....	26
Tableau II.3 : Caractéristique de certaines zéolithes utilisées dans le raffinage.....	33
Tableau II.4 : La composition et les caractéristiques structurales de quelques zéolithes.....	34

### **Chapitre III : Description du procédé de résidu fluidisé du craquage catalytique**

Tableau III.1: Propriétés de la charge RFCC.....	43
--	----

## Liste des abréviations

---

**RA1G** : la raffinerie d'Alger.

**GPL** : gaz de pétrole liquéfié.

**A301, A302, A303** : bacs de stockage.

**Unité 100** : unité de distillation atmosphérique.

**Jet A1** : carburant pour aviation (kérosène).

**DCS** : système numérique de contrôle-commande.

**CCR** : reforming à régénération continue.

**GMC** : service maintenance chaudronnerie.

**GE** : service maintenance électrique.

**CPP** : centrale de production propre.

**GTG** : gaz turbine générateur.

**HP** : haute pression.

**STG** : générateur de turbine à vapeur.

**ECS** : électrique centrale système.

**ACE** : chaudière à eau surchauffé.

**ETP** : établissement de traitement des eaux usées.

**CFR** : coopérative fuel research (recherche coopérative sur les carburants).

**HDC** : hydrocraquage.

**FCC** : fluide catalytic cracking.

**RFCC** : résidu fluidisé du craquage catalytique.

**SLURRY** : une boue (en anglais : slurry).

**TCC** : thermoform catalytic craking.

**HGO** : higher cycle oil (Gasoil lourd).

## Liste des abréviations

---

**ADU** : unité de distillation atmosphérique.

**530-R-002** : régénérateur.

**LCO** : light cycle oil (Gasoil léger).

**CLO** : l'huile clarifiée.

**HCO** : heavy cycle oil (Huile de cycle lourd).

**530-R-001** : réacteur.

**U600** : unité MEROX ( oxydation des mercaptans).

**530-C-045** : séparateur C<sub>3</sub>/C<sub>4</sub>.

**530-C-021** : la colonne principale.

**530-E-001** : échangeur.

**530-D-004** : la chambre d'orifice.

**530-G-001** : un générateur de vapeur de gaz de combustion.

**530-M-002** : précipitateur électrostatique.

**VSS** : réacteur de séparation par vortex.

**530-F-001 (DFAH)** : le réchauffeur d'air à combustion directe.

**530-C-023** : la colonne de distillation sous vide.

**530-D-021** : le réservoir tampon d'alimentation.

**530-EA-021** : des condenseurs.

**530-D-022** : le récepteur de tête.

**U570** : unité de stripping d'eau acide.

**E20, E21, E25** : les échangeurs.

**530-D-042** : compresseur.

**530-C-044** : débutaniseur.

## Liste des abréviations

---

**REY** : rare earth zéolithe (Zéolithe de terres rares).

**REHY** : zéolithe Y du matériau composite peut être de type HY REY ou REHY.

**RE<sub>3</sub><sup>+</sup>** : Rhénium trioxyde.

**NHT-U500** : unité d'hydrotraitement du naphta.

**RON** : research octane number (indice d'octane de recherche).

**MON** : motor octane number (indice d'octane moteur).

**DY** : Délaminage Y (zéolithe).

**U560** : unité FGATU.

**Unité 300** : unité gaz-plant.

**MS BLOC**: Motor Spirit BLOC (Moteur Spirit BLOC).

**RCO** : Résidu atmosphérique.

**API** : American petroleum institute (Institut américain du pétrole).

**Essence SR** : super régulier (sans plombe).

**Slops** : déchets liquide d'hydrocarbure, d'eau et de contaminants divers.

**TBP** : véritable point d'ébullition.

**UOP** : produit pétrolier universels.

## Liste des abréviations

---

# Tables des matières

---

Introduction.....	01
-------------------	----

## **Chapitre I : Description de la raffinerie d'Alger**

I.1.Classification des raffineries.....	03
I.1.1.Raffineries simples.....	03
I.1.2.Raffineries complexes.....	03
I.1.3.Raffineries ultra complexes.....	04
I.2.Présentation générale de la raffinerie d'Alger.....	05
I.2.1.Situation géographique de la raffinerie d'Alger.....	05
I.2.2.Historique de la raffinerie d'Alger.....	05
I.2.3.Objectif et capacité de production.....	05
I.2.4.Principales installations de la raffinerie d'Alger.....	06
I.2.4.1.Unité de distillation atmosphérique "Topping" (U100).....	08
I.2.4.2.Unité de séparation des gaz liquéfiés "gaz-plant" (U 300).....	09
I.2.4.3.Section MS-Block.....	10
I.2.4.3.1.Unité d'hydrotraitement des naphthas NHT (U-500).....	10
I.2.4.3.2.Unité d'isomérisation des naphthas (U-510).....	10
I.2.4.3.3.Unité de reformage CCR (U-520).....	10
I.2.4.4.Unité de craquage catalytique RFCC (U 530).....	11
I.2.4.5.Section sulfure bloc.....	12
I.2.4.6.Les utilités.....	12
I.2.4.7.Parc de stockage.....	14
I.2.4.8.Laboratoire.....	15
I.2.4.8.1.Service contrôle.....	15

## Tables des matières

---

I.2.4.8.2.Service chimie.....	16
-------------------------------	----

### Chapitre II : Généralités sur le craquage

II.1.principe du craquage.....	17
II.2.Les différents types de craquage.....	17
II.2.1.Craquage par voie thermique.....	18
II.2.2.Craquage par voie catalytique.....	18
II.3.Craquage catalytique.....	18
II.3.1.Définition.....	18
II.3.2.Historique.....	18
II.4.Les procédés de craquage catalytique.....	19
II.4.1.Le craquage catalytique à lit fixe.....	19
II.4.2.Le craquage catalytique à lit fluidisé FCC.....	19
II.4.3.Le Craquage catalytique à lit mobile TCC.....	23
II.5.Craquage des principales familles d'hydrocarbures.....	24
II.5.1.Craquage des paraffines.....	24
II.5.2.Craquage des naphènes.....	25
II.5.3.Craquage des oléfines.....	25
II.5.4.Craquage des aromatiques.....	26
II.6.Technique de craquage catalytique.....	27
II.6.1.Principes directeurs.....	27
II.6.2.Unité de craquage catalytique.....	28
II.6.3.Charges et produits.....	29
II.6.4.Réactions et mécanismes.....	30

## Tables des matières

---

II.7.Catalyseur du craquage catalytique.....	32
II.7.1.Historique.....	32
II.7.2.Catalyseurs zéolithique.....	32
II.7.2.1.Propriétés de la Zéolithe.....	33
II.7.2.2.Quelques types de zéolithes.....	33
II.7.2.3.Les zéolithes dans les procédés industriels.....	34
II.7.2.4.Type de zéolithe "Y" utilisé dans le FCC.....	35
II.7.2.5.Désactivation et régénération des zéolithes.....	36

### **Chapitre III: Description du craquage catalytique de fluide résiduel (RFCC)**

III.1.Description du procédé du craquage catalytique RFCC.....	37
III.1.1.Objectif du procédé de l'unité catalytique de fluide résiduel (RFCC).....	37
III.2.Principe de fonctionnement du procédé RFCC.....	38
III.2.1.Section du réaction-régénération.....	38
III.2.1.1.Description du réacteur R 001 de l'unité RFCC.....	41
III.2.1.1.1.Riser.....	41
III.2.1.1.2.Désengageur.....	42
III.2.1.1.3.Stripper.....	42
III.2.1.1.4.Alimentation en Charge du réacteur.....	43
III.2.1.1.5.Formation de coke.....	44
III.2.1.1.6.Nature et formes du coke déposé à l'intérieur du réacteur 530-R-001.....	44
III.2.1.2.Description du régénérateur R 002 de l'unité RFCC.....	45
III.2.2.Section de fractionnement.....	46

## Tables des matières

---

III.2.2.1.Vapeurs de tête de la colonne de fractionnement (530-C-021).....	47
III.2.2.2.Gasoil Leger L.C.O (light cycle oil).....	47
III.2.2.2.1.Refroidissement du gasoil.....	48
III.2.2.3.Le gaz oil lourd de recyclage H.C.O (Heavy Cycle Oil).....	48
III.2.2.4.Le produit du fond de la colonne (530-C-021).....	48
III.2.2.5.Les reflux de la colonne de fractionnement.....	49
III.2.2.5.1.Reflux de tête.....	49
III.2.2.5.2.Reflux moyen.....	49
III.2.2.5.3.Reflux du fond.....	49
III.2.3.section concentrations des gaz.....	50
III.2.4.section de gestion de catalyseur.....	51
III.3.Produits finis issus du procédé RFCC.....	51
III.4.Caractéristiques des produits.....	51
III.5.Trois équilibres à respecter dans le procédé RFCC.....	52
Conclusion.....	53

# **Introduction**

## Introduction

---

Le raffinage du pétrole est une industrie lourde qui transforme le pétrole brut en une gamme de produits énergétiques tels que les carburants et les combustibles et des produits non énergétiques tels que les matières premières pour la pétrochimie, les solvants pour les peintures, les huiles, les graisses, les paraffines, les cires et les bitumes. La raffinerie est un ensemble d'unités de fabrication. Ces unités utilisent des procédés physiques ou chimiques que l'on peut classer en trois catégories à savoir : la séparation, la conversion et l'épuration. On trouve également dans une raffinerie des unités support telles que les utilités, l'électricité, la vapeur et l'hydrogène.

Ce modeste travail vise à expliquer l'utilité des trois chapitres que nous présentons.

### Chapitre 1 : Présentation de la raffinerie d'Alger

Le premier chapitre de ce document porte sur la présentation générale de la raffinerie d'Alger. La raffinerie d'Alger est l'une des installations pétrolières les plus importantes en Algérie et joue un rôle crucial dans le secteur de l'énergie du pays. Ce chapitre mettra en évidence l'emplacement stratégique de la raffinerie, ses capacités de production, ainsi que les principales activités et infrastructures présentes sur le site. De plus, il examinera également les aspects historiques et économiques liés à la raffinerie d'Alger, et soulignera son importance en tant que contributeur majeur à l'approvisionnement énergétique national.

### Chapitre 2 : Description de l'unité RFCC

Le deuxième chapitre se concentrera sur la description détaillée de l'unité RFCC (Riser Fluid Catalytic Cracking). Cette unité est l'un des éléments clés de la raffinerie d'Alger et joue un rôle crucial dans le processus de raffinage du pétrole brut. Le chapitre expliquera les principes de fonctionnement de l'unité RFCC, mettant en évidence son importance dans la conversion des fractions pétrolières lourdes en produits à plus haute valeur ajoutée, tels que les carburants et les produits pétrochimiques. Une attention particulière sera accordée aux équipements, aux réactions chimiques et aux catalyseurs utilisés dans le processus de craquage catalytique.

### Chapitre 3 : Description du craquage catalytique

Le troisième chapitre sera consacré à une description approfondie du craquage catalytique. Le craquage catalytique est une technique essentielle dans le raffinage du pétrole, et il est largement utilisé dans l'unité RFCC de la raffinerie d'Alger. Ce chapitre expliquera les principes fondamentaux du craquage catalytique, y compris les types de réactions chimiques impliquées et les mécanismes de conversion des hydrocarbures. Il mettra également en évidence l'importance des catalyseurs dans ce processus et examinera les principaux facteurs qui influencent l'efficacité et la sélectivité du craquage catalytique. Enfin, le chapitre discutera des avancées récentes dans le domaine du craquage catalytique, notamment en ce qui

## Introduction

---

concerne l'amélioration de l'efficacité énergétique et la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

En combinant ces trois chapitres, ce document fournira une introduction complète et approfondie sur la raffinerie d'Alger, en mettant l'accent sur l'unité RFCC et le processus de craquage catalytique. Il permettra aux lecteurs de comprendre les aspects clés de cette installation pétrolière majeure et de se familiariser avec les techniques et les technologies utilisées dans le raffinage du pétrole brut.

### **Problématique :**

La problématique abordée concerne l'étude du craquage catalytique pour maximiser la production de carburants légers à haute valeur ajoutée. Dans cette étude, les questions principales abordées sont les suivantes:

- Sélectivité des produits : Comment améliorer la sélectivité des produits du craquage catalytique pour favoriser la production de carburants légers à haute valeur ajoutée, tout en minimisant la formation de produits indésirables tels que les gaz à effet de serre ?
- Catalyseur et réactivité : Comment concevoir et développer des catalyseurs plus performants et sélectifs, capables de favoriser les réactions de craquage des fractions lourdes du pétrole brut en produits légers de haute qualité ?
- Gestion de la coke : Comment prévenir la formation excessive de coke sur les catalyseurs et développer des méthodes de régénération efficaces pour prolonger la durée de vie des catalyseurs et maintenir leur performance ?

### **Objectifs :**

Notre étude se concentre sur l'étude du craquage catalytique afin d'obtenir une production maximale de carburants légers à haute valeur ajoutée, tout en minimisant les effets néfastes sur l'environnement. En abordant les problématiques liées à la sélectivité des produits, aux catalyseurs, à la gestion de la coke, il est possible d'améliorer les performances et la durabilité de cette méthode de raffinage essentielle.

# Chapitre I

## Description de la raffinerie d'Alger

## Chapitre I

### Description de la raffinerie d'Alger

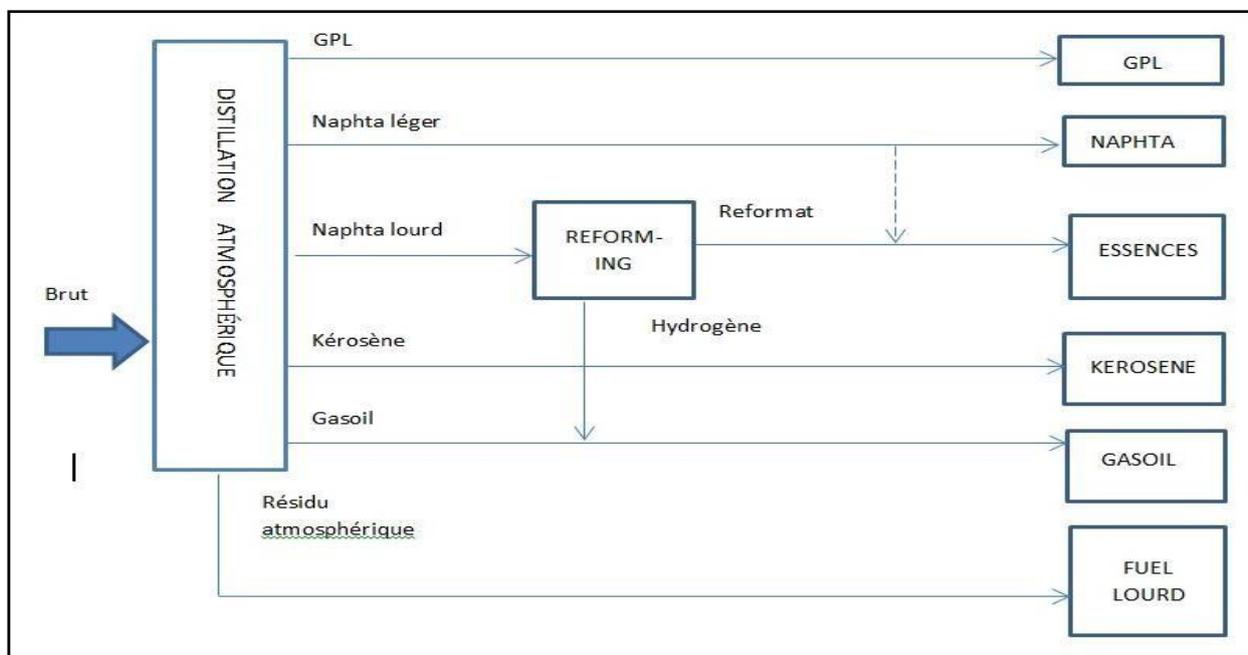
#### I.1. Classification des raffineries

Selon leur degré de complexité, il existe des raffineries simples ou complexes. Les raffineries simples sont constituées seulement de quelques unités de traitement tandis que les raffineries complexes en possèdent bien plus.

##### I.1.1. Raffineries simples

Elles sont dotées d'une colonne de distillation atmosphérique, ainsi que généralement d'une unité de reformage catalytique et d'unités d'hydrodésulfuration des distillats intermédiaires.

**Exemple d'une raffinerie simple** (figure I.1)



**Figure I.1** : Schéma bloc d'un exemple d'une raffinerie simple [2].

##### I.1.2. Raffineries complexes

Les raffineries complexes peuvent donc avoir, en plus des unités ci-dessus, d'autres unités dont les plus communes sont équipées d'unités de conversion conventionnelles telles que le craquage catalytique (FCC), l'hydrocraquage (HDC) ou la viscoréduction.

# Description de la raffinerie d'Alger

Exemple d'une raffinerie complexe (voir figure I.2)

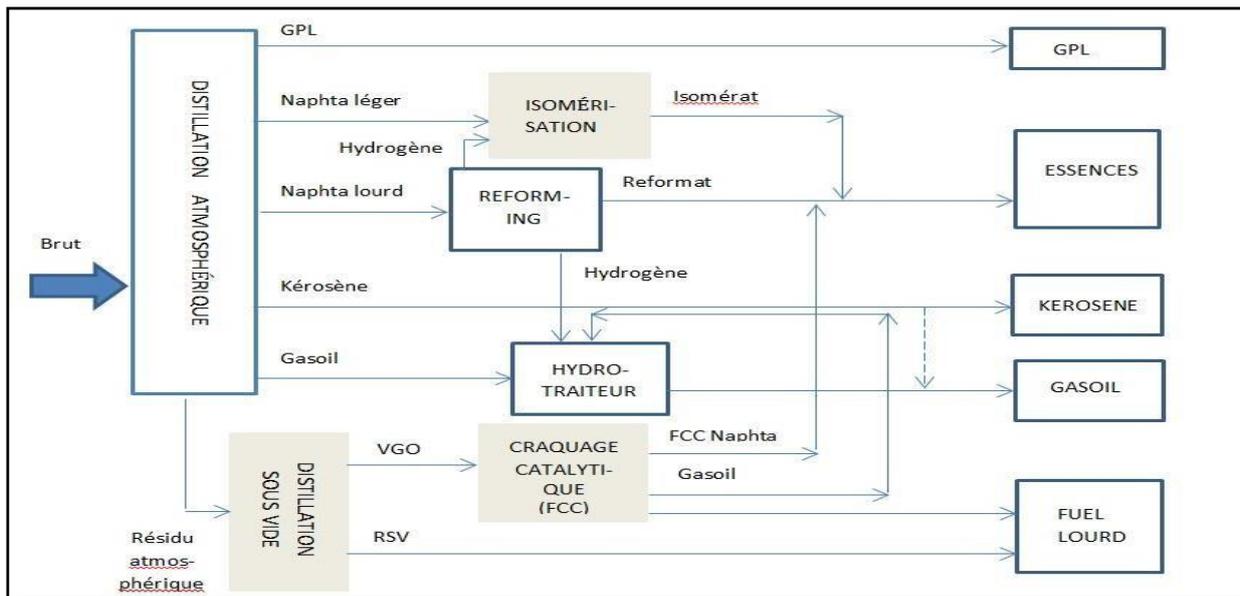


Figure I.2 : Schéma bloc d'un exemple d'une raffinerie complexe [2].

## I.1.3. Raffineries ultra complexes

Ces installations comprennent à la fois des installations de conversion conventionnelle et des unités de conversion avancées, capables de traiter directement les résidus atmosphériques ou sous vide.

Exemple d'une Raffinerie ultra complexe (voir figure I.3)

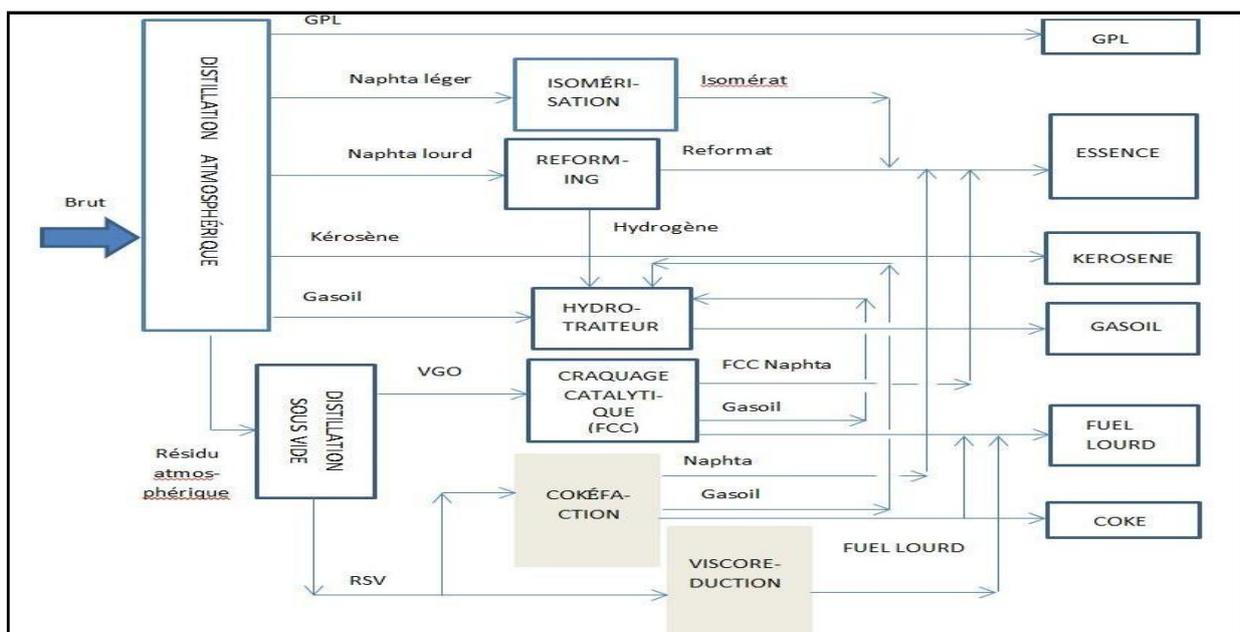


Figure I.3 : Schéma bloc d'un exemple d'une raffinerie ultra complexe [2].

## **I.2.Présentation générale de la raffinerie de d'Alger**

### **I.2.1.Situation géographique de la raffinerie d'Alger**

La raffinerie d'Alger est située à une distance de 5 kilomètres au sud d'El Harrach et à 20 kilomètres à l'est d'Alger, couvrant une superficie de 182 hectares. Ce site a été sélectionné suite à une étude du sol, qui a révélé la présence d'une nappe d'eau essentielle pour alimenter les systèmes de refroidissement.

### **I.2.2.Historique de la raffinerie**

La Raffinerie d'Alger fut créé en décembre 1959 suite à la découverte du pétrole au sud algérien en septembre 1959, le chantier fut ouvert en janvier 1960, le démarrage de la raffinerie n'a eu lieu que le 19 janvier 1964 par un groupe de compagnies étrangères. Le coût de construction est estimé à 210 millions dinars dont 170 millions par les installations et 40 millions de frais établis et autres [2].

Avant 1971, l'approvisionnement de la raffinerie se faisait par des tankers transportant du pétrole depuis Bejaia jusqu'au port pétrolier d'Alger, puis par un pipeline de 26 pouces jusqu'au parc de stockage. Par la suite, un branchement a été réalisé à Beni Mansour à partir d'un pipeline dépendant de Hassi-Messaoud à Bejaia, permettant ainsi un pipeline de 18 pouces d'une longueur de 131 kilomètres jusqu'à la raffinerie, avec un débit de 500 m<sup>3</sup>/h. Ce pipeline a ensuite été rénové en un pipeline de 20 pouces, permettant un débit atteignant jusqu'à 800 m<sup>3</sup>/h. Le choix de la région algéroise pour l'implantation de la raffinerie s'explique par son potentiel de développement industriel futur, ainsi que par sa position en tant que principal centre de consommation avec une part de 40% à 50% de la demande nationale.

Du point de vue quantitatif, la raffinerie vise à continuer à répondre aux besoins en produits de première nécessité tels que l'essence, le gasoil, le GPL, etc., ainsi qu'aux produits serviteur de base à l'industrie pétrochimique. Sur le plan qualitatif, un programme a été mis en place visant à éliminer progressivement le plomb des essences, avec une réduction actuelle de 0,4 g/l depuis le 1er janvier 1999, jusqu'à 0,15 g/l à partir du 1er janvier 2002, et une suppression totale du plomb prévue prochainement en 2023 [1].

### **I.2.3.Objectif et capacité de production**

Le but primordial de la raffinerie est de continuer à assurer la couverture des besoins en produits de première nécessité, ainsi que les divers produits pour l'industrie pétrolière.

La raffinerie a une gamme variée de produits qui répondent aux normes nationales et internationales qui sont :

- Butane et propane commerciaux.

## Description de la raffinerie d'Alger

---

- Naphta (30% essence SR+70% solvant total).
- Essences normale et super.
- Jet (Kérosène).
- Gas-oil.
- Fuel lourd.

La capacité de production de la raffinerie d'Alger est de 2 700 000 tonnes/an [7].

Grâce à la réhabilitation et à l'extension de la raffinerie d'Alger, ses capacités de traitement du pétrole brut ont été augmentées de 35 %, ce qui se traduit par une production annuelle de 3,6 millions de tonnes de divers hydrocarbures raffinés. Cependant, l'impact le plus significatif a été la capacité de répondre à 95% à 100% des besoins en carburants de la région centrale du pays, permettant ainsi des économies d'environ 2 milliards de dollars en importations de carburants.



**Figure I.4 :** Raffinerie d'Alger [7].

### **I.2.4.Principales installations de la raffinerie d'Alger**

La Raffinerie d'Alger qui montre sur la figure I.4 les compositions de plusieurs installations qui sont : [3].

-Unité de distillation atmosphérique de 3,6 millions de tonnes/an.

## Description de la raffinerie d'Alger

---

- Unité Gaz-plant pour la séparation et traitement des GPL.
- Unité de mélange (Ethylation) pour la fabrication des essences (Normal et Super).
- parc de stockage pour le pétrole brut et pour les produits finis et semi-finis.
- Une unité de pomperie pour les expéditions de produits par pipes aux dépôts El-Harrach, Caroubier, du Port pétrolier, de l'Aéroport d'Alger au dépôt Chiffa (Blida).
- Une unité de reforming catalytique de 2 500 m<sup>3</sup>/j dont le rôle est de transformer une coupe pétrolière à bas indice d'octane (mélange de solvant léger et de solvant lourd) provenant de l'unité de distillation en un reformat à haut indice d'octane qui est la base principale pour la fabrication des carburants automobiles (essence normale et essence super).
- D'un port pétrolier équipé de trois postes de chargement et déchargement ainsi qu'une station de déballastage et d'écumage d'hydrocarbures.
- D'un laboratoire de contrôle de la qualité des produits.
- Deux chaudières à vapeur de 47 tonnes/h chacune.
- Deux stations de traitement des eaux.
- Une centrale thermoélectrique constituée d'un groupe turboalternateur qui développe 6MW d'énergie électrique, la centrale a pour but d'assurer les besoins énergétiques de la raffinerie (vapeur, eau, électricité, air).
- D'un poste de commandement d'intervention en 24/24h.
- Plusieurs ateliers de maintenance et de magasins.
- D'une rampe de chargement GPL alimentant les régions du centre du pays.

# Description de la raffinerie d'Alger

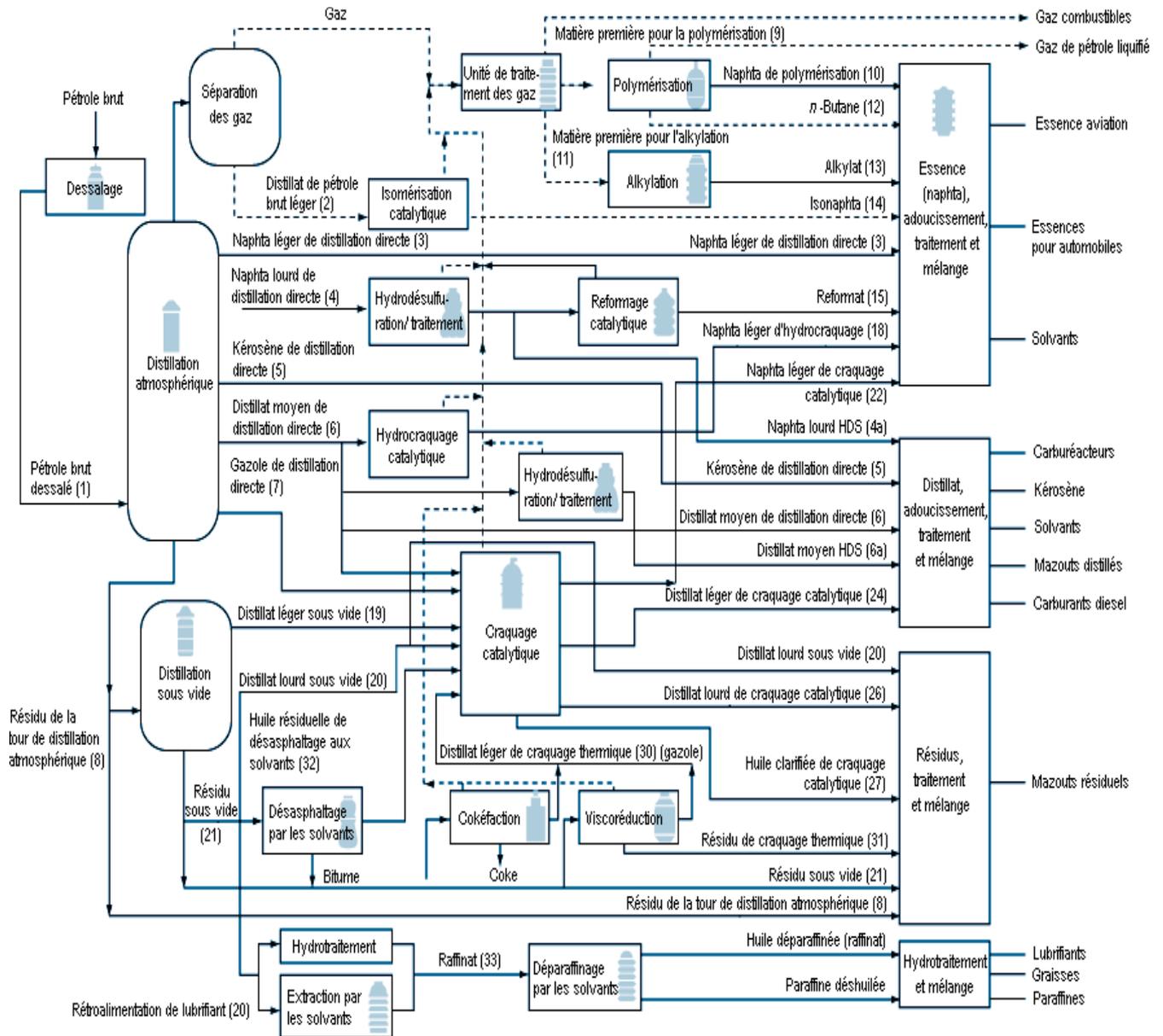


Figure I.5 : Schéma des procédés de raffinage [7].

## I.2.4.1. Unité de distillation atmosphérique "Topping" (U100)

A partir des bacs de stockage A301, A302, A303 le mélange de brut Hassi-Messaoud avec des proportions variables n'excédant pas 28% en poids de condensât Hassi-R'Mel, est pompé à une température de 27°C au moyen des pompes verticales P101A, P101B, P101C. [4].

L'unité a pour but de séparer le pétrole brut en produits finis : kérosène ; moteurs diesel ; fioul et GPL (butane et propane) qui seront stockés directement avant commercialisation, et en produits intermédiaires : solvants légers et lourds qui serviront de catalytique lourd Matières premières pour l'ensemble de l'appareil. La capacité de traitement est de 2,7 millions de tonnes/an.

Les unités de distillation atmosphérique comprennent : [4].

## Description de la raffinerie d'Alger

- Groupe d'échauffement.
- Ballon Flash D102.
- Four F101.
- Un réservoir de gaz D107 pour alimenter le four F101.
- Colonne de distillation atmosphérique C101.
- Tour de débutanisation C104.
- Colonne de redistillation C105.

**Tableau I.1:** Produits de la distillation atmosphérique du pétrole brut et leurs destinations [4].

Produits	Destinations
<b>GPL</b>	Charge pour l'unité Gas-plant
<b>Essence SR</b>	Base pour les essences Base pour les naphtha export
<b>Solvant léger (97 – 108 °C)</b>	Utilisé comme charge du reforming en mélange avec le solvant lourd Base naphtha export
<b>Solvant lourd (168 – 178 °C)</b>	Utilise comme charge de l'unité de reforming en mélange avec le solvant léger. Base pour naphtha export
<b>Kérosène (228 – 238 °C)</b>	Jet-A1 pour aviation
<b>Gas-oil Léger (278 – 289 °C)</b>	Carburant diesel
<b>Distillat (330 – 340 °C)</b>	Utilise comme combustible pour chaudières et en mélange avec du résidu pour la fabrication du fuel-oil BTS

### I.2.4.2. Unité de séparation des gaz liquéfiés "gaz-plant" (U 300)

Cette unité permet la séparation et le traitement des gaz venant des deux unités précédentes, pour produire le propane et le butane commerciaux liquéfiés.

## Description de la raffinerie d'Alger

---

Sa conception a été réalisée pour traiter le flux liquide provenant des accumulateurs de tête des débutantiseurs de l'unité de distillation et de l'unité de reformage, dans le but d'obtenir du propane et du butane à des fins commerciales. Par la suite, ces produits passeront à travers des systèmes de purification équipés de tamis moléculaires afin d'éliminer toute présence d'humidité et de composés soufrés.

L'unité 300 comprend : [4].

- Un ballon tampon D301.
- Un dééthaniseur C301.
- Un ballon séparateur D302.
- Un dépropaniseur C302.
- Un ballon séparateur D303.
- Traitement butane et propane par des tamis moléculaires (C303A et D305 pour C3, C303B et D307 pour le C4).

### **I.2.4.3. Section MS-Block**

La section MS Block se décompose en trois unités :

#### **I.2.4.3.1. Unité d'hydrotraitement des naphtas NHT (U-500)**

L'unité 500 est dédiée à l'hydrotraitement des naphtas afin de produire diverses coupes de naphta exemptes de divers composés indésirables tels que l'eau, les halogènes, les sulfures, le nitrogène, les oléfines et dioléfines, le mercure, l'arsenic, et autres. Ces substances pourraient nuire à l'efficacité des catalyseurs utilisés dans les unités ultérieures d'isomérisation et de reformage CCR.

#### **I.2.4.3.2. Unité d'isomérisation des naphtas (U-510)**

L'objectif de cette unité est de réaliser l'isomérisation des naphtas, c'est-à-dire de convertir les composés C5 et C6 en leurs isomères respectifs, pour obtenir un produit à indice d'octane élevé. Ce produit est ensuite utilisé dans les mélanges des essences commerciales produites par la raffinerie.

#### **I.2.4.3.3. Unité de reformage CCR (U-520)**

Dans le but de remplacer l'unité de reformage catalytique existant (unité 200), l'installation de l'unité de reformage CCR est prévue. Cette nouvelle unité offre un rendement amélioré et permet d'obtenir un produit à indice d'octane supérieur. Grâce à l'utilisation d'un catalyseur, son objectif est de produire un naphta à indice d'octane élevé. Ce naphta sera ensuite mélangé pour obtenir des essences à indice d'octane élevé.

### I.2.4.4. Unité de craquage catalytique RFCC (U 530)

Ces produits légers seront utilisés dans la fabrication de carburants afin d'obtenir des produits finaux à la fois à haut indice d'octane et à haute valeur marchande. L'unité RFCC est composée de trois sections distinctes:

- La section de régénération du réacteur.
- La section de la colonne principale.
- La section de concentration de gaz.

Une autre unité est associée à l'unité RFCC, chargée de traiter une partie des GPL provenant de la section de concentration de gaz. Cette unité, appelée MEROX UNIT-600, a pour objectif d'éliminer le soufre et le mercaptan présents dans ces gaz.

#### a) Fraction des produits

L'unité de RFCC est chargée de produire les fractions suivantes :

- Les fractions légères, comprenant l'effluent gazeux et le GPL, qui seront utilisées pour alimenter l'usine de gaz (GP).
- Le naphta total, qui sera acheminé vers l'unité d'hydrotraitement du naphta (NHT).
- Le kérosène, qui sera stocké pour une utilisation ultérieure.
- Le gazole léger, qui sera également stocké.
- Le gazole lourd et le résidu atmosphérique, qui sera utilisé comme alimentation pour le craquage catalytique des fluides résiduels.

#### b) Point de fraction des produits

L'unité RFCC montre dans ces deux tableaux (I.2, I.3) les différents points de fractionnement pour leurs produits et des conditions à la limite pour leur charge suivante :

Les points de fractionnement TBP (True Boiling Point) des coupes C1 à C4 dans une unité RFCC (Résid Fluid Catalytic Cracking) peuvent varier en fonction des conditions spécifiques de fonctionnement de l'unité et de la composition du flux d'alimentation. Cependant, je peux vous fournir une estimation générale des plages de température pour ces coupes : - Coupe C1 (méthane) : Étant donné que le méthane est un gaz à température ambiante, il n'a pas de point de fractionnement TBP spécifique. – Coupé.

**Tableau I.2** : les produits et le Point de fractionnement TBP (°C) de l'unité RFCC [4].

Les produits	Point de fractionnement TBP (°C)
--------------	----------------------------------

## Description de la raffinerie d'Alger

Naphtha léger	C5 – 140
Naphtha lourd	140 – 165
Kérosène	165 – 240
Gazole léger	240 – 345
Gazole lourd	345 – 365
Résidu atmosphérique	365+

**Tableau I.3 :** Les conditions à la limite de la zone de l'unité RFCC [4].

Les conditions	Température (°C)		Pression (Kg / cm <sup>2</sup> g) au sol	
	Normale	Design	Normale	Design
Gazole lourd et résidu atm vers craquage catalytique des fluides résiduels.	157	204	6	13.86

### I.2.4.5. Section sulfure bloc

La configuration comprend quatre unités distinctes:

- L'unité de traitement des gaz acides (fuel gaz) par absorption à l'amine (unité-560-FGATU).
- L'unité de stripage des eaux acides (unité-570-SWS).
- L'unité de régénération de l'amine (unité-580-ARU).
- L'unité de récupération du soufre (unité-590-SRU).

### I.2.4.6. Les utilités

Se compose des unités suivantes :

#### a) Unité de l'eau brute (unité 701)

## Description de la raffinerie d'Alger

---

L'unité de traitement de l'eau brute 701 est responsable de recevoir l'eau brute provenant des puits de forage situés à l'intérieur de la raffinerie. Elle peut également être approvisionnée en eau de SEAL via un pipeline. Cette unité assure la distribution de l'eau aux différents utilisateurs de la raffinerie.

### **b) Tours de refroidissement (unité 710/711)**

L'unité en question approvisionne les utilisateurs de la raffinerie en eau de refroidissement et reçoit son alimentation en eau brute de l'unité 701.

### **c) Unité d'eau déminéralisée (unité 720)**

L'eau brute provenant de l'unité d'eau brute 701 située à l'intérieur de la raffinerie est acheminée vers cette unité, où elle est traitée pour être transformée en eau déminéralisée.

### **d) Unité d'eau anti incendie (unité 741)**

Est une installation spécialement conçue pour assurer la disponibilité immédiate d'une source d'eau fiable et suffisante en cas d'incendie. Son rôle principal est de fournir l'eau sous pression pour lutter contre les incendies dans l'ensemble de la raffinerie.

### **e) Centrale de production propre (CPP) Unité 751**

Les systèmes de vapeur et d'eau d'alimentation de chaudière font partie des nouvelles installations pour la raffinerie d'Alger, et sont désignés sous l'appellation d'unité CPP 751 (centrale de production propre, ou centrale électrique dédiée à la production d'électricité pour consommation propre) [7].

Cette unité est conçue pour fournir de la vapeur aux consommateurs dans les installations des unités de procédés et pour produire une eau d'alimentation de chaudière (EAC) de qualité utilisée en interne par les nouvelles chaudières mais aussi fournie sous forme d'EAC haute pression (HP) à différentes unités de la raffinerie. En outre, le complexe est équipé d'un turbogénérateur à gaz (Gaz Turbine Generator, GTG) et d'un turbogénérateur à vapeur (Steam Turbine Generator, STG) raccordés au système de contrôle-commande électrique (Electrical Control System, ECS) et qui couvrent les besoins électriques de l'ensemble de la raffinerie [7].

### **f) Unité de production d'air (U 781)**

L'air comprimé est nécessaire dans la raffinerie pour multiples usages telle que l'air pour le fonctionnement des instruments utilisés dans l'installation ainsi que pour purger certains tableaux de commande. et en tant qu'air comprimé pour les robinets d'incendie, pour la régénération catalytique, pour le décokage des fours etc [5].

### **g) La torche (U 791)**

## Description de la raffinerie d'Alger

Le système de torchère assure la collecte sécurisée et l'élimination des flux de décharge d'hydrocarbures gazeux de la raffinerie d'Alger, ainsi que des liquides entraînés ou condensés présents dans les conduites de la torchère.

### **h) Unité de production d'azote (U 810)**

L'unité en question comprend une installation de production d'azote gazeux et liquide, ainsi que des installations connexes pour le stockage et la vaporisation de l'azote liquide.

### **i) Unité de polissage des condensats CPU (U 830)**

Elle est installée au sein des nouvelles unités de fluides de la raffinerie d'Alger, elle consiste en une installation centralisée de traitement des condensats pollués générés par diverses unités de traitement de la raffinerie, en aval les condensats purifiés provenant de l'unité CPU (U 830) sont renvoyés vers le désaérateur de la nouvelle unité CPP (U 751) [7].

### **j) Unité de soude caustique et acide chlorhydrique (U 840)**

Le système de soude caustique est conçu pour répondre aux besoins spécifiques de la raffinerie.

### **k) Unité de traitement des effluents (U 850)**

Cette unité pour mais de traiter toutes les eaux usées produites lors de l'exploitation de la raffinerie. Les eaux usées sont recueillies et soumises à un processus de traitement dans la nouvelle station d'épuration des effluents (ETP).

### **I.2.4.7. Parc de stockage**

Le parc de stockage est composé de 53 réservoirs cylindriques d'une capacité totale de 474500 m<sup>3</sup> pour le stockage des différents produits et 9 réservoirs sphériques d'une capacité de 15106 m<sup>3</sup> pour le stockage du propane et du butane [8].

**Tableau I.4 :** Parc de stockage et capacité en m<sup>3</sup> [8].

Produit	Bac	Capacité du bac en m <sup>3</sup>	Capacité totale en m <sup>3</sup>
Alimentation NHT	A102	10000	20000
	A103	10000	
Gasoil	A201	20000	80000
	A202	20000	
	TK 203	20000	
	TK 204	20000	
Essences sans plomb commerciales	A106	12500	80400
	A105	10000	
	A107	10000	
	C1	2900	
	B2	5000	

## Description de la raffinerie d'Alger

	TK 110	10000	
	TK 111	10000	
	TK 112	10000	
Gazoline	A104	10000	17900
	C3	2900	
	B10	5000	
Reformat	C2	2500	10000
	C8	2500	
	B4	5000	
Jet A-1	TK 005	5000	25000
	B6	5000	
	C6	2500	
	B1	5000	
	B7	5000	
	C7	2500	
Rejets station traitement des effluents	B8	5000	5000
Slops	D1	1000	3000
	D2	1000	
	D3	1000	
Pétrole brut	A301	35000	147400
	A302	35000	
	A303	37400	
	TK401	40000	

### I.2.4.8.Laboratoire

Le laboratoire réalise divers tests sur les intermédiaires et finis afin de contrôler leur conformités aux normes et d'identifier les éventuels dysfonctionnements du processus, dans le mais d'optimiser les paramètres.

Le département laboratoire se compose de deux services :

#### I.2.4.8.1.Service contrôle

La tâche principale de cette entité consiste à assurer le contrôle de la qualité des produits en effectuant divers types d'analyses, Ces analyses comprennent : [5].

- La mesure de la densité.
- La distillation, qui permet de vérifier les températures de début pétrolier et de fin d'une fraction.
- La vérification de plusieurs critères tels que la régulation, le trouble et le congé d'éclair du gazole, du kérosène et/ou du Jet A1.
- La mesure de la conductibilité du kérosène et/ou du Jet A1.
- La vérification de la couleur de certains produits.

## Description de la raffinerie d'Alger

---

-La mesure de l'indice des essences à l'aide d'un moteur CFR.

### **I.2.4.8.2. Service chimie**

La responsabilité de cette entité consiste à réaliser des analyses qualitatives et quantitatives sur les produits finis ainsi que sur les eaux utilisées dans le processus de production.

# Chapitre II

## Généralité sur le craquage

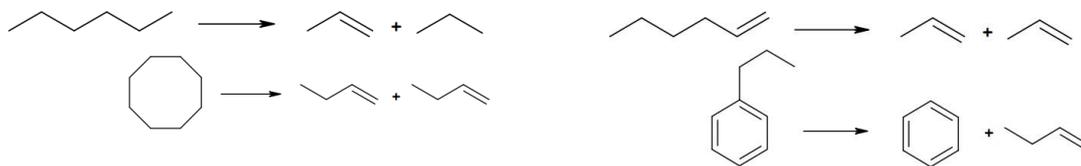
## Chapitre II

### Généralités sur le craquage

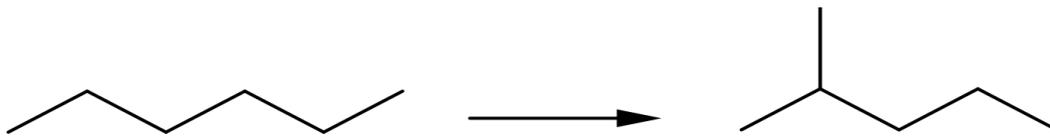
#### II.1.Principe du craquage

Le processus consiste à transformer les molécules d'hydrocarbures volumineuses (coupes C14-70) en molécules plus petites qui peuvent être ramifiées, cycliques ou aromatiques (légères) [29].

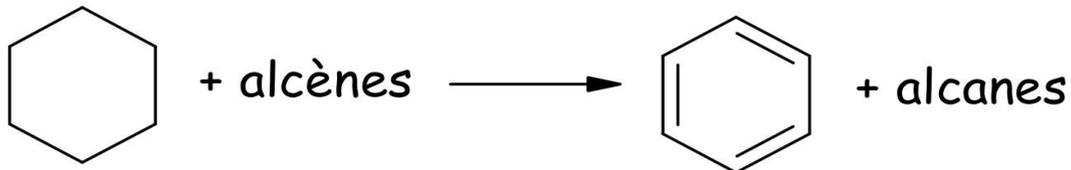
- Réactions de coupure de liaison C-C.



- Réactions d'isomérisation.



- Réactions de transfert d'hydrogène



#### II.2. Différents types de craquage

La proportion des produits issus de la séparation du pétrole brut ne répond pas aux exigences du marché, que ce soit en termes de quantité ou de qualité. Les procédés de conversion jouent un rôle essentiel dans le raffinage et la pétrochimie. Au sein de ces catégories principales, les procédés de conversion réalisent des transformations moléculaires visant à atteindre les objectifs requis. Par conséquent, ils sont classés en fonction du schéma réactionnel et des conditions opératoires. Voici les différents types de procédés de conversion que nous distinguons :

### **II.2.1. Craquage par voie thermique**

La température joue un rôle crucial en tant que source d'énergie, car certains réactifs sont endothermiques, ce qui entraîne une augmentation du nombre de molécules. Le craquage thermique est principalement utilisé sur les distillats intermédiaires, à une température située entre 450 et 500 degrés Celsius, sous pression. Ce processus génère des alcènes, qui constitue la majeure partie de l'essence. Il convient de noter que cette réaction est également responsable de la formation de coke en tant que sous-produit [30].

### **II.2.2. Craquage par voie catalytique**

Le craquage catalytique est un processus de décomposition des grandes molécules d'alcane à une température de 500 degrés Celsius.

Il repose sur la conversion du distillat sous vide en fractions plus légères à haute température et basse pression, en utilisant un mécanisme acide. Ce processus utilise un catalyseur spécifique, composé d'une zéolithe et d'une matrice à base de silice-alumine, qui agit comme un catalyseur acide.

## **II.3. Craquage catalytique**

### **II.3.1. Définition**

Le craquage du pétrole est le processus de transformation de composants lourds ayant un point d'ébullition élevé supérieur à 200 degrés en fractions plus légères contenant des hydrocarbures ramifiés et aromatiques.

Les produits issus de ce processus sont utilisés comme matières premières dans l'industrie pétrochimique. Ils se présentent sous forme de gaz, d'essence et de carburant diesel. Grâce à ce craquage, la qualité de l'essence est améliorée, lui conférant des propriétés supérieures adaptées à une utilisation en tant que carburant pour automobiles et dans des applications chimiques spécifiques [31].

### **II.3.2. Historique**

À partir de 1877/1878, Friedel et Craft ont utilisé du chlorure d'aluminium comme catalyseur pour convertir les fractions lourdes du pétrole en fractions plus légères, ce qui a été commercialisé dès 1915 par la Gulf Refining Company. Cependant, en raison des pertes de chlorure d'aluminium dans les phases hydrocarbonées et de la corrosion causées par le HCl utilisé comme co-activateur, ce procédé a été abandonné. En 1923, EJ Houdry a entrepris des recherches qui ont abouti au développement du procédé de craquage catalytique, et la

première unité industrielle a été construite aux États-Unis par la Houdry Process Corporation [22].

### **II.4. Les Procédés de craquage catalytique**

Les procédés actuellement utilisés pour la catalyse de craquage catalytique (FCC) se distinguent principalement par la façon dont le catalyseur est manipulé, bien que certains types de catalyseurs et propriétés des produits se chevauchent. Les catalyseurs, qu'ils soient naturels ou synthétiques, sont employés sous forme de billes, de granulés ou de microsphères, et peuvent être utilisés dans des lits fixes, mobiles ou fluidisés.

Le procédé de lit fixe a été initialement utilisé dans l'industrie. Comme son nom l'indique, le catalyseur est immobilisé dans le réacteur, tandis que l'alimentation se fait en continu. Dans le procédé de lit mobile, un four est utilisé pour la réaction de craquage, et le catalyseur usé est régénéré. La capacité de déplacement entre les deux est assurée par divers moyens. Le procédé de lit fluidisé diffère des procédés de lit fixe ou mobile en ce que le catalyseur (sous forme de poudre) est introduit simultanément avec la charge.

#### **II.4.1. Craquage catalytique à lit fixe**

Le procédé commercial de craquage catalytique en lit fixe comprend deux méthodes : le procédé Houdry et le procédé Cycloversion. Le procédé Houdry a été préféré et utilisé plus largement que le procédé Cycloversion. Cependant, de nos jours, le craquage catalytique en lit fixe est moins couramment utilisé. Dans ce type de configuration, la matière première traverse un lit de catalyseur stationnaire chauffé. Après avoir été inactivé par la formation de coke, le réacteur est régénéré pour maintenir son activité.

#### **II.4.2. Craquage catalytique à lit fluidisé FCC**

Dans le procédé de lit catalytique fluide, une poudre fine de catalyseur circule en continu entre le réacteur et le régénérateur, sans recours à des dispositifs mécaniques. Ce procédé fluide a été introduit pour la première fois en 1941. Les microsphères de catalyseur se déplacent avec le flux de vapeurs provenant des matières premières. À mesure que la cokéfaction progresse, les particules de catalyseur deviennent plus lourdes et tombent. Le catalyseur est ensuite retiré pour être régénéré, ce qui se déroule également dans un lit fluidisé, tandis que les produits passent par le processus de séparation. Le craquage catalytique fluidisé est bien plus répandu que le craquage en lit mobile. Une conception plus simple est nécessaire pour la régénération du catalyseur. Dans certains cas, les fours tubulaires sont éliminés : la chaleur générée pendant la régénération est entièrement utilisée pour chauffer et effectuer le craquage de la charge [29].

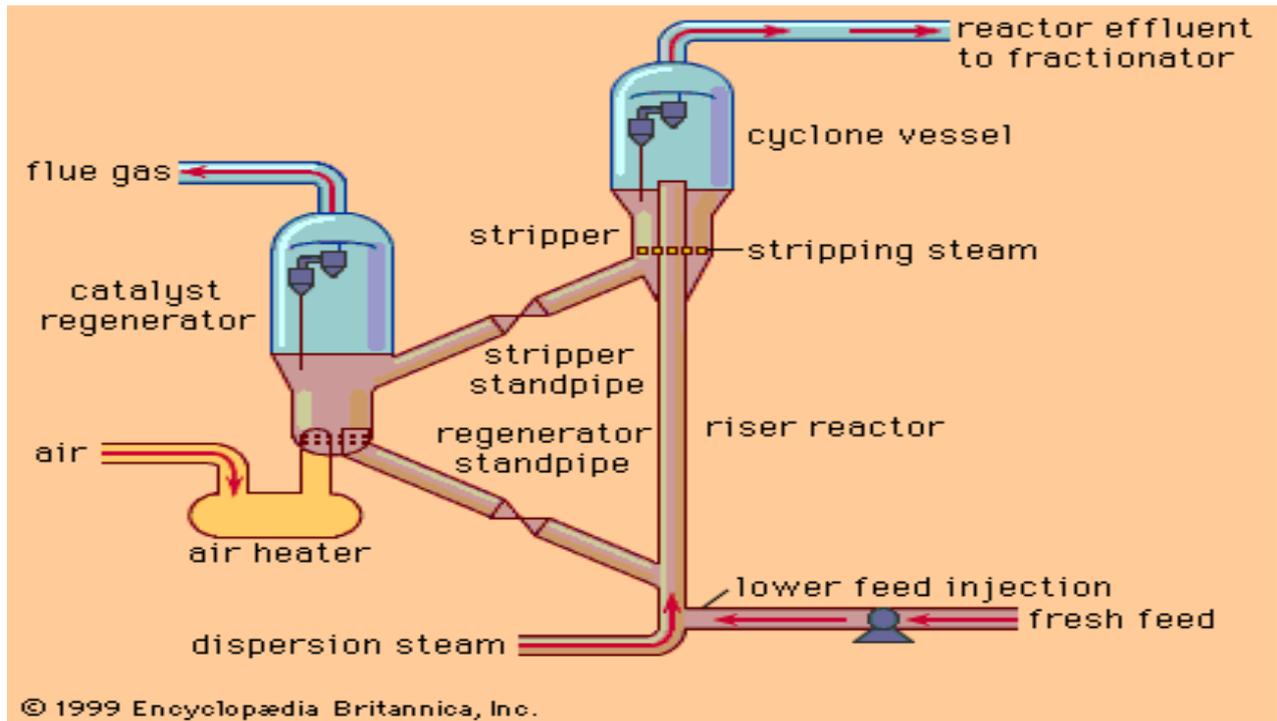
## Généralités sur le craquage

---

La plupart des unités de craquage catalytique en fluide (FCC) préchauffent le gazole alimenté à partir du stockage ou d'autres unités avant qu'il n'atteigne le riser. Ce préchauffage est généralement réalisé en utilisant les reflux latéraux provenant de la colonne de fractionnement principale, les produits du fractionnement principal et/ou un four à gaz spécifique dédié.

La température typique de préchauffage de l'alimentation se situe généralement entre 149 et 400 °C. La charge est d'abord dirigée à travers des échangeurs de chaleur qui utilisent les reflux chauds provenant de la colonne de fractionnement principale. Le réacteur-régénérateur est l'élément central du procédé FCC. À l'heure actuelle, le riser est considéré comme le réacteur principal. Les réactions de craquage se produisent en phase vapeur dès que la charge est vaporisée par le catalyseur régénéré à haute température. L'expansion des vapeurs constitue la principale force motrice utilisée pour transporter le catalyseur à travers le riser [29].

Le catalyseur régénéré à haute température joue un rôle essentiel dans le procédé FCC en fournissant la chaleur nécessaire pour vaporiser la charge et maintenir la température de craquage appropriée. Il compense également le refroidissement interne du riser dû aux réactions endothermiques. Après avoir quitté le riser, le catalyseur entre dans la chambre du réacteur qui sert de logement pour les cyclones et facilite la séparation du catalyseur des vapeurs. La plupart des unités FCC utilisent un dispositif de séparation inertielle à l'extrémité du riser pour séparer le catalyseur des produits gazeux. Certains systèmes utilisent un dispositif déflecteur pour diriger le flux de catalyseur vers le bas. Dans certaines unités, le riser est directement relié à un ensemble de cyclones pour la séparation.



**Figure II.1:** Réacteur –régénérateur FCC [29].

Lorsque le "catalyseur usé" pénètre dans le stripper, il contient des hydrocarbures adsorbés à sa surface ainsi que des vapeurs d'hydrocarbures qui remplissent ses pores et sont entraînées avec le catalyseur. Le strippage à la vapeur est principalement utilisé pour éliminer les hydrocarbures entraînés entre les particules de catalyseur. Cependant, cette méthode n'élimine généralement pas les hydrocarbures adsorbés ni ceux qui ont rempli les pores du catalyseur. Malgré cela, des réactions de craquage continuent de se produire dans le stripper.

Les réactions dans le stripper sont influencées par la température du réacteur et le temps de séjour du catalyseur. Une température plus élevée et un temps de séjour prolongé favorisent la conversion des hydrocarbures adsorbés en produits légers. Les dispositifs tels que les plateaux en shed, les déflecteurs à disques/beignets et les garnitures structurelles sont utilisés pour assurer un bon contact entre le catalyseur descendant et la vapeur ascendante. La vanne de régulation contrôle le flux de catalyseur usé vers le régénérateur. Maintenir un niveau adéquat de catalyseur dans le stripper est essentiel pour empêcher le retour de gaz de combustion chauds vers le réacteur. Dans certaines unités FCC, le catalyseur usé gravite vers le régénérateur, tandis que dans d'autres, un gaz de lift est utilisé pour le transporter. Une distribution uniforme du catalyseur usé est cruciale pour assurer une combustion efficace et minimiser les émissions de NOx. Le régénérateur a pour fonctions principales de restaurer

## Généralités sur le craquage

---

l'activité du catalyseur, de fournir de la chaleur pour les réactions de craquage et de fournir du catalyseur fluidisé aux buses d'alimentation.

Le catalyseur usé contient généralement une quantité de coke comprise entre 0,5 % et 1,5 % en poids lorsqu'il entre dans le régénérateur. L'oxygène nécessaire à la combustion du coke est fourni par une ou plusieurs soufflantes d'air. Ces soufflantes assurent une vitesse et une pression d'air suffisantes pour maintenir le lit de catalyseur dans un état fluidisé. Cette configuration est présente dans certaines unités FCC.

L'air ou l'oxygène entre dans le régénérateur par le biais d'un système de distribution d'air positionné près du fond de la cuve. La conception du distributeur d'air joue un rôle crucial dans l'obtention d'une régénération efficace et fiable du catalyseur. Ces distributeurs sont généralement conçus pour une perte de pression de 7 à 15 KPa, ce qui permet un bon fonctionnement du processus de régénération [30].

Les régénérateurs traditionnels à lit bouillant se composent généralement de deux zones distinctes : la zone dense et la zone diluée. À des vitesses typiques de 0,6 à 1,2 m/s, la majorité des particules de catalyseur se trouvent dans la zone dense, juste au-dessus du distributeur d'air. La zone diluée, quant à elle, s'étend de la zone dense jusqu'à l'entrée du cyclone et présente une concentration de catalyseur nettement plus faible.

La combustion peut être soit complète, soit partielle, et cela a un impact sur l'énergie produite et le rendement en coke :

- La combustion complète génère plus d'énergie, mais diminue le rendement en coke.
- La combustion partielle génère moins d'énergie, mais augmente le rendement en coke.

Lors d'une combustion complète, l'oxygène est en excès, ce qui favorise la combustion du carbone. En revanche, lors d'une combustion partielle, le carbone est en excès, et tout l'oxygène est consommé. Un rendement en coke plus élevé signifie une conversion du CO<sub>2</sub> en CO.

Le choix entre la combustion partielle et la combustion complète dépend de la qualité de l'alimentation dans le procédé FCC. Si l'alimentation est propre, la combustion complète est préférée. En revanche, si l'alimentation est de faible qualité ou si elle est constituée de résidus, la combustion partielle, éventuellement avec évacuation de chaleur, est privilégiée.

Lorsque les gaz de combustion quittent la phase dense du régénérateur, ils emportent avec eux des particules de catalyseur. La quantité de particules emportées dépend principalement de la vitesse des gaz de combustion dans le régénérateur. Les particules de catalyseur plus grosses, ayant un diamètre de 50 µm à 90 µm, retombent dans la phase dense du lit. Les

particules plus petites, de 0  $\mu\text{m}$  à 50  $\mu\text{m}$ , restent en suspension dans la phase diluée et sont transportées vers les cyclones. La plupart des régénérateurs dans les unités FCC sont équipés de 2 à 20 paires de cyclones primaires et secondaires. Ces cyclones sont conçus pour capturer les particules de catalyseur dont le diamètre est supérieur à 15  $\mu\text{m}$ . Les particules capturées sont renvoyées dans le régénérateur par l'intermédiaire des plongeurs [30].

Pendant le processus de régénération, le niveau de coke sur le catalyseur est généralement réduit à moins de 0,10 %. Une fois régénéré, le catalyseur est transféré du régénérateur vers une conduite de transfert connue sous le nom de "stand pipe".

La vanne à tiroir ou à boisseau est utilisée pour réguler le débit du catalyseur régénéré vers la colonne montante. Son fonctionnement est souvent contrôlé par la température du réacteur. Son rôle principal est de fournir la quantité nécessaire de catalyseur pour chauffer la charge et atteindre la température de craquage souhaitée.

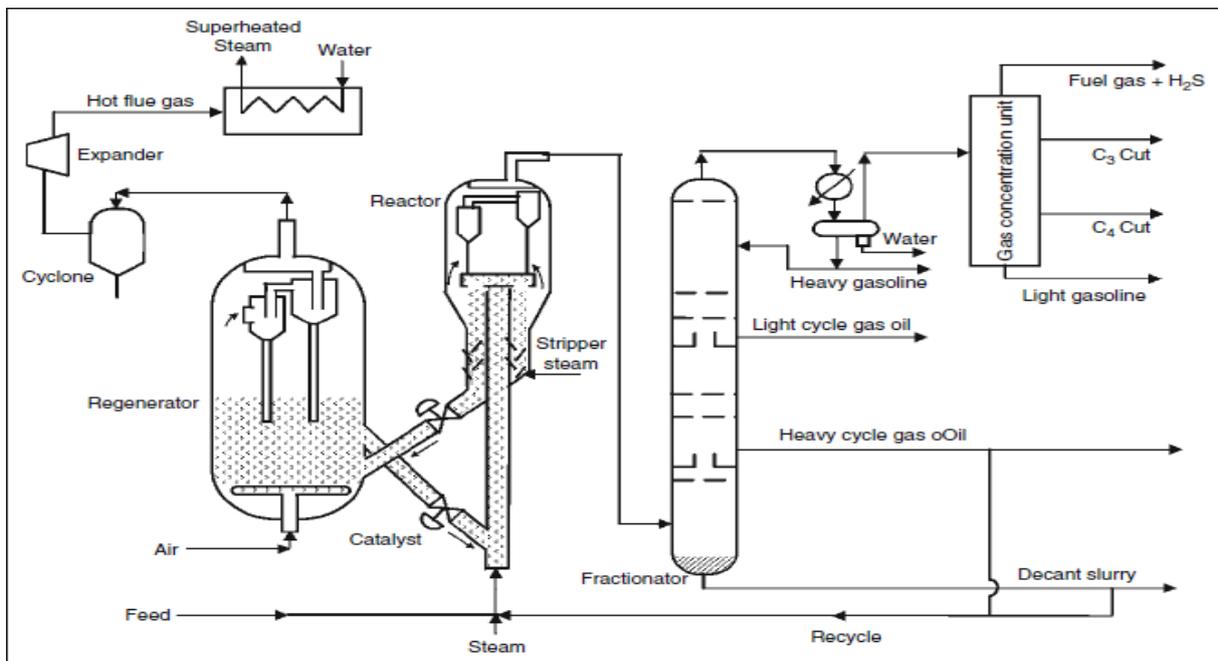


Figure II.2 : Schéma technologique d'une unité de craquage catalytique à lit fluidisé [30].

### II.4.3. Craquage catalytique à lit mobile TCC

Le procédé de craquage catalytique à lit fixe a été amélioré grâce au développement de procédés à lit mobile. Ces procédés utilisent des réacteurs distincts pour le craquage et la régénération du coke, et le catalyseur circule en continu d'un réacteur à l'autre. Cette approche permet de surmonter les limitations rencontrées dans le procédé à lit fixe.

Le procédé utilise un lit de billes de catalyseur en mouvement ascendant à l'intérieur du réacteur, entrant en contact avec les vapeurs provenant de la charge. Le catalyseur est ensuite

envoyé vers le bas pour être régénéré, tandis que les produits issus du craquage sont séparés. La régénération du catalyseur se fait dans un appareil distinct en utilisant de l'air, permettant de récupérer la chaleur générée lors de la combustion du coke pour produire de la vapeur [29]. Le système de craquage catalytique avec un catalyseur à gros grains présente l'avantage d'assurer un contact uniforme entre toutes les particules de catalyseur et les vapeurs d'hydrocarbures dans la zone de réaction, ainsi qu'avec l'air dans la zone de régénération. Cela entraîne une cokéfaction uniforme de l'ensemble du catalyseur après la réaction, ainsi qu'une teneur en coke résiduel uniforme après la régénération. Cependant, ces installations ont des limitations en termes de capacité du système de transport pneumatique pour les gros grains de catalyseur, en raison de la consommation élevée de gaz de transport. Par conséquent, ce type de système n'est pas adapté aux installations de grande puissance. De plus, en raison du temps de séjour prolongé du catalyseur dans la zone de réaction, l'utilisation efficace du catalyseur zéolithe n'était pas optimale dans ce système.

Le procédé commercial de craquage catalytique en lit mobile comprend les procédés suivants :

- Le procédé TCC à contre-courant.
- Le procédé TCC à co-courant.
- Processus de Houdriflow.
- Processus TCC air-lift.
- Le procédé TCC « thermofour catalytic cracking ».
- Le procédé suspensoïde.

### **II.5.Craquage des principales familles d'hydrocarbures**

Les catégories principales d'hydrocarbures qui présente le tableau II.2 comprennent les paraffines, les oléfines, les aromatiques et les naphthènes.

#### **II.5.1.Craquage des paraffines**

Les molécules ayant une masse moléculaire élevée se décomposent plus facilement que celles ayant une masse moléculaire plus faible. À une température de 500 °C et en présence d'un catalyseur Silice-Alumine-Zircone, les pourcentages de conversion sont les suivants : moins de 1% pour nC5 H12, moins de 3% pour nC7 H16, jusqu'à 18% pour nC12 H26, et jusqu'à 42% pour nC16 H34.

Les isoparaffines subissent une décomposition plus rapide que les paraffines normales lorsqu'elles sont soumises à une température de 550 °C et en présence d'un catalyseur Silice-Alumine-Zircone. Les pourcentages de conversion sont les suivants [32].

**Tableau II.1 :** craquage des paraffines [32].

C-C-C-C-C-C	14%
C-C-C-C-C   C	25%
C-C-C-C-C   C	25%
C-C-C-C     C C	32%
C   C-C-C-C   C	10%

### II.5.2. Craquage des naphènes

La décomposition des naphènes en aromatiques par déshydrogénation est peu courante, car ils sont plus faciles à craquer en paraffines et en alcènes que les n-paraffines.

### II.5.3. Craquage des oléfines

Les oléfines ont des taux de craquage beaucoup plus élevés que les paraffines et peuvent présenter des propriétés d'isomérisation. L'addition d'un proton à une molécule d'oléfine a généré le même ion que celui produit par le retrait d'un ion hydruure d'une molécule de paraffine ayant le même nombre de carbones.

Le craquage catalytique des oléfines peut parfois conduire à la formation de naphènes et d'aromatiques.



Oléfine    Oléfine    Oléfine



Oléfine    Dioléfine    Hydrogène

## Généralités sur le craquage

La conversion des oléfines en paraffines, dioléfines ou aromatiques est une réaction de transfert d'hydrogène qui joue un rôle significatif dans le processus de craquage catalytique.

**Oléfine 1 + oléfine 2 → paraffines + dioléfine**

**Oléfines → paraffines + aromatique**

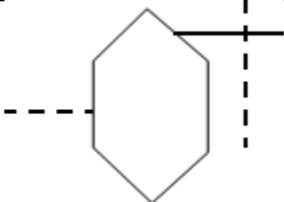
En général, le mécanisme de ces réactions peut être expliqué simplement par les propriétés de l'ion carbonique. Cependant, l'explication devient plus complexe lorsqu'il s'agit de l'aromatisation des naphènes et de la condensation des aromatiques [33].

### II.5.4. Craquage des aromatiques

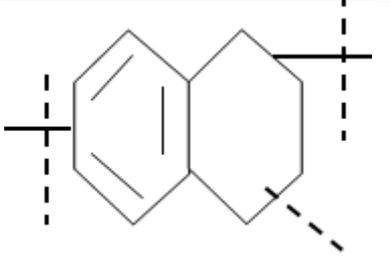
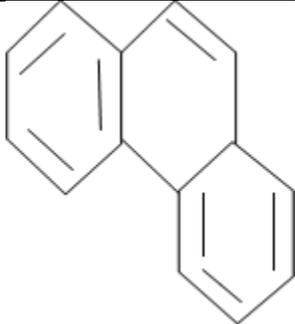
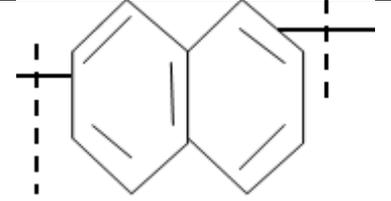
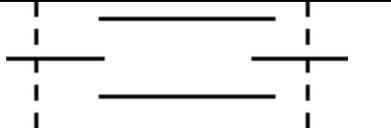
Les noyaux aromatiques présentent une grande stabilité. Les substances aromatiques plus lourdes ont tendance à se condenser et à former du coke. La qualité de la charge utilisée a un impact significatif sur la sélectivité du processus de craquage catalytique.

La présence d'hétéroatomes tels que le soufre, l'azote et les composés organométalliques dans la charge catalytique peut entraîner des réactions secondaires indésirables. Les molécules contenant du soufre et de l'azote sont partiellement converties en H<sub>2</sub>S et NH<sub>3</sub>, qui se retrouvent ensuite dans les gaz légers.

**Tableau II.2 :** Principales réactions des différentes familles d'hydrocarbures en craquage catalytique [34].

Hydrocarbures	Structure chimique schématique	Nature des réactions prédominantes	Principaux produits obtenus
Paraffines (Normale et iso)		Rupture de la chaîne HC en divers points, les ruptures en bout de chaîne sont favorisées	Paraffines et oléfines ramifiées comprenant au moins 3 atomes de Carbone, peu de Méthane
Naphtènes		Rupture des cycles et des chaînes latérales	Paraffines et oléfines un peu d'aromatiques

## Généralités sur le craquage

Naphthènes aromatiques		Ouverture du cycle naphténiqne, rupture des chaînes latérales au niveau des cycles aromatiques	Paraffines, oléfines et aromatiques
Aromatiques sans Chaîne latérale		Craquage négligeable	Coke
Aromatiques avec Chaîne latérale		Rupture des chaînes latérales au niveau des cycles aromatiques	Oléfines et aromatiques
Oléfines		Rupture de la chaîne hydrocarbonée en divers points	Oléfines ramifiées, un peu de paraffines

### II.6. Technique de craquage catalytique

Le craquage catalytique est la méthode prédominante employée dans l'industrie pétrolière pour transformer les fractions lourdes des distillats de pétrole en matières premières pouvant être utilisées comme carburant diesel et essence.

#### II.6.1. Principes directeurs

L'objectif d'un catalyseur solide est d'accélérer une réaction chimique spécifique. Par conséquent, lors de sa mise en œuvre, il est nécessaire de prendre en compte l'ensemble du système, comprenant le catalyseur lui-même, la réaction chimique et les conditions opératoires appropriées. Lors de l'application industrielle, il est important de conserver autant que possible les caractéristiques essentielles du catalyseur, notamment :

- Son activité.

-Sa sélectivité.

-Sa stabilité.

En tenant compte des principes fondamentaux, il est possible de définir les exigences d'une mise en œuvre idéale. Il est essentiel, en premier lieu, d'éviter que des phénomènes de diffusion ne compromettent les qualités intrinsèques de la surface catalytique. Ces phénomènes de diffusion peuvent se produire à l'intérieur ou à l'extérieur des grains du catalyseur.

Le craquage catalytique moderne est réalisé en phase gazeuse à basse pression (2-3 bar). Il utilise le catalyseur comme solide caloporteur. La température de réaction se situe entre 500 et 540 °C, et le temps de séjour est de l'ordre de la seconde. Les catalyseurs actuellement utilisés sont composés d'un mélange d'acide de silice alumine amorphe et de zéolite (à hauteur de 10 à 40 %). En général, les zéolithes sont des aluminosilicates cristallins possédant une structure tridimensionnelle avec des pores régulièrement interconnectés. Dans le cas du craquage catalytique, une zéolite à pores larges (diamètre : 100 nm) est utilisée, ce qui permet aux molécules les plus volumineuses d'accéder aux sites actifs [35].

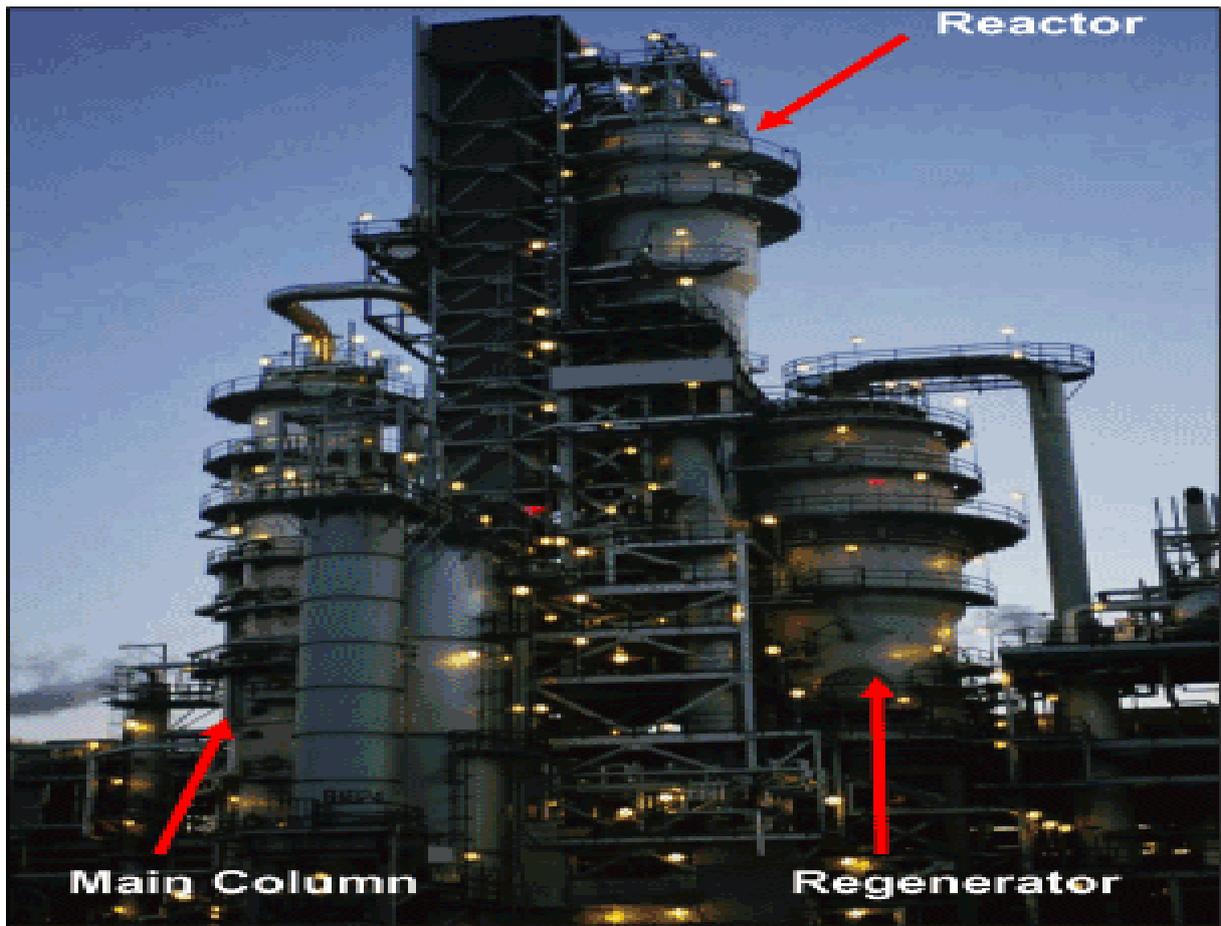
L'activité de craquage du catalyseur découle de sa nature acide, et parfois elle est améliorée par la présence de terres rares telles que le lanthane et le cérium. Les catalyseurs de craquage catalytique ne sont pas affectés par les impuretés telles que le soufre et l'azote, mais ils sont sensibles aux métaux, même à l'état de traces. Il est donc essentiel d'utiliser des charges complètement débarrassées de tout métal.

### **II.6.2. Unité de craquage catalytique**

Une unité conventionnelle de craquage catalytique se compose généralement de deux sections principales :

-Le réacteur (ou riser) où se déroulent les réactions de craquage avec la formation de coke sur le catalyseur.

-Le régénérateur où l'injection d'air permet la combustion du coke à des températures comprises entre 650 et 720 °C.



**Figure II.3 :** Schéma générale d'une unité de craquage catalytique [37].

### II.6.3.Charges et produits

La charge typique utilisée dans le procédé de craquage catalytique fluide (FCC) est généralement le distillat sous vide, avec un point d'ébullition initial de 350-380 °C et un point d'ébullition final d'environ 550-560 °C. Cependant, les raffineurs ont souvent tendance à ajouter d'autres charges ayant des poids moléculaires similaires, provenant de différentes unités de transformation, dans le but de les valoriser.

Les charges utilisées dans ce procédé flexible comprennent généralement des distillats sous vide, des huiles désasphaltées, des résidus hydrotraités ou non, ainsi que des sous-produits d'autres procédés tels que des extraits, des paraffines, des distillats de viscoréduction et de cokéfaction, ainsi que des résidus d'hydrocraquage. Ces charges sont mélangées avec la charge principale pour être traitées dans le FCC.

Les produits issus du craquage catalytique présentent une large gamme d'oléfines pour les fractions légères et une forte teneur en composés aromatiques pour les fractions lourdes. Une grande variété de produits est obtenue, allant des gaz légers (C4-) aux fractions très lourdes telles que le HCO<sub>2</sub> (350-550 °C) et le slurry (550 °C), ainsi que la formation de coke.

L'essence est généralement le produit le plus recherché, représentant en moyenne environ 50 % du poids total de la charge.

### II.6.4.Réactions et mécanismes

- **L'ion carbonium**

Dans le processus de craquage thermique, la liaison électronique qui lie les noyaux de deux atomes de carbone se rompt de manière à ce qu'un électron reste sur chaque noyau, ce qui conduit à la formation de radicaux libres. Cela peut être représenté comme suit :



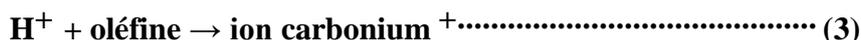
En revanche, dans le craquage catalytique, le doublet électronique reste sur le même noyau de l'atome de carbone tandis que l'autre devient positivement chargé, ce qui entraîne la formation d'un ion positif appelé ion carbonium. On peut l'exprimer ainsi :



Ce mode de rupture nécessite une quantité considérable d'énergie et ne peut se produire qu'en présence de donneurs de protons H<sup>+</sup>, qui sont les sites actifs du catalyseur [34].

- **Formation de l'ion carbonium**

La théorie du carbocation a pour objectif d'expliquer comment certains acides catalysent l'alkylation et la polymérisation à basse température des oléfines et des iso-paraffines. Elle peut être utilisée pour décomposer des molécules d'hydrocarbures à des températures élevées en présence d'un catalyseur. Lors de ce processus, un intermédiaire instable appelé carbanion est formé par l'addition de protons H<sup>+</sup> provenant du catalyseur aux alcènes.



Lors de cet ajout, une quantité de chaleur est libérée, qui est plus importante lors de l'ajout de carbones tertiaires que de carbones secondaires, et plus importante lors de l'ajout de carbones secondaires que de carbones primaires. Cela a pour effet de favoriser l'isomérisation et le craquage des isoparaffines. Les carbocations formés peuvent ensuite être ajoutés aux alcènes, donnant ainsi des carbocations de plus grande taille.



Lors de l'alkylation ou de la polymérisation, il y a également production de chaleur. En revanche, lors de la fissuration, la réaction inverse se produit.



- **Mécanisme d'action de l'ion carbonium**

En clivant les oléfines à chaîne moyenne et longue à chaîne droite, où la double liaison est

## Généralités sur le craquage

---

située en position -1, un carbocation est d'abord formé grâce à la réaction (3). Par la suite, le carbanion alkyle en position normale subit une isomérisation instantanée vers une position secondaire.



Ensuite, la chaîne se brise en position bêta, ce qui entraîne la formation d'un carbocation de taille plus réduite.



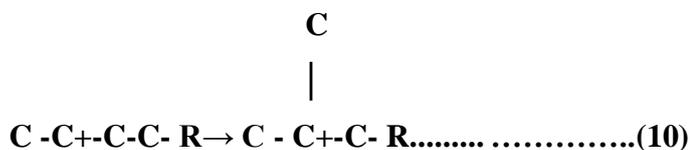
Le clivage en position  $\beta$  ne conduit pas à la formation d'alcènes plus courts que le propène. Le carbénium formé de cette manière subit une isomérisation instantanée, puis il se décompose, produisant à chaque fois du propylène et un carbénium de taille réduite [34].

Ce processus se poursuit jusqu'à ce que le carbocation ne puisse plus être divisé en fragments contenant au moins trois atomes de carbone. À ce stade, il peut réagir avec des alcènes, générant à la fois des alcènes et des carbocations, ou il peut réagir avec des paraffines, produisant des paraffines et des carbocations. Alternativement, il peut libérer un proton et le retourner au catalyseur. Ceci correspond à la réaction inverse de la réaction (3).



Ces réactions sont typiques de ce que l'on nomme le "transfert d'hydrogène". Les principales caractéristiques des carbocations découlent des réactions mentionnées précédemment, notamment :

- La génération de protons à partir du catalyseur.
- L'isomérisation des carbones primaires vers les carbones secondaires, voire tertiaires si l'activité catalytique est très élevée.



- La rupture en une oléfine et un ion de taille réduite.
- L'alkylation sur une paraffine ou une autre oléfine.

Le mécanisme par lequel les carbocations interagissent avec le processus de craquage des hydrocarbures aromatiques demeure encore incertain.

Pour les hydrocarbures saturés, qu'ils soient cycliques ou à chaîne ouverte, il semble que la formation des oléfines se produise d'abord par une légère fissuration thermique, suivie de la formation de carbanions en présence de catalyseurs. Une fois formés, ces carbanions

déclenchent la réaction de craquage proprement dite.

## II.7.Catalyseur du craquage catalytique

### II.7.1.Historique

En 1923, Eugène Houdry, un Français, développe le premier catalyseur à base d'argile naturelle (montmorillonite). Ces catalyseurs sont traités à l'acide pour améliorer leur stabilité thermique et éliminer les impuretés favorisant la formation de coke et de gaz légers.

En 1941, les premiers catalyseurs synthétiques à base de silice-alumine avec une teneur de 15-17% en  $Al_2O_3$  ont été introduits. Ils étaient plus actifs, sélectifs et exempts d'impuretés. Ces catalyseurs étaient utilisés sous forme de pastilles pour la pyrolyse en lit mobile (T.C.C) et sous forme de poudre pulvérisée pour le lit fluidisé (F.C.C).

En 1950, les catalyseurs en microsphères FCC d'un diamètre de 60  $\mu m$  ont été développés, ce qui a amélioré la fluidité et réduit l'usure.

En 1954, un catalyseur  $Al_2O_3-SiO_2$  à haute teneur en alumine (25-30%) a été synthétisé, montrant une activité supérieure au catalyseur précédent. D'autres catalyseurs ont été développés mais ont été abandonnés en raison de problèmes de stabilité et de sélectivité.

En 1962/1963, les catalyseurs zéolithiques ont été introduits, offrant une amélioration de l'activité, de la sélectivité et de la stabilité thermique. En 1984, une nouvelle génération de catalyseurs de synthèse Z.S.M.S à base de zéolithe, développée par Soconny Mobile, a été mise au point, présentant une meilleure résistance à la chaleur [16].

### II.7.2.Catalyseurs zéolithique

Les zéolithes qui présentent dans la figure II.4 sont des matériaux oxydes, à base de silicium et d'aluminium, qui présentent un intérêt majeur dans le domaine de la catalyse hétérogène et dont les propriétés peuvent être modulées par la présence de défauts structuraux. Dans une zéolithe comportant des ions aluminium, une espèce  $Al^{3+}$  (formellement chargée 3 fois) remplace un ion  $Si^{4+}$ . La désalumination des zéolithes (abstraction des atomes d'aluminium de réseau) par traitement à la vapeur d'eau (steaming) est une opération post-synthétique très courante, employée pour ajuster l'acidité de Bronsted du solide à un niveau modéré, pour le stabilisant, et également pour générer des mésopores (plus grands que les micropores, jusqu'à 50 nm de diamètres).

On attribue aux zéolithes une formule chimique générale du type [17].



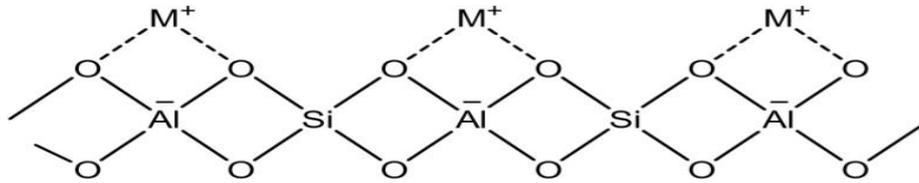
Avec :

**M** : Cation qui compense la charge négative de l'entité structurale élémentaire.

n: Valence du cation M.

y: Nombre de molécule d'eau par entité structurale élémentaire.

x:  $\geq 2$ .



**Figure II.4.** Structure générale d'une zéolithe

### II.7.2.1. Propriétés de la Zéolithe

Les zéolithes, en raison de leur composition chimique et de leur structure spécifique, présente dans le tableau II.3 possèdent diverses propriétés qui en font des matériaux particulièrement intéressants pour la catalyse hétérogène. Parmi ces propriétés, on peut citer :

- Capacité d'échange de cations.
- Sélectivité moléculaire grâce à leur structure en tamis.
- Capacité d'adsorption.
- Acidité réglable.

Ces caractéristiques permettent aux zéolithes d'être utilisées dans de nombreuses applications, notamment dans le domaine du raffinage. Parmi ces applications, on peut mentionner : [18].

- Processus d'essorage pour l'élimination de l'humidité.
- Processus de décontamination pour éliminer les impuretés.
- Processus de séparation pour la purification des composés.
- Utilisation comme catalyseurs dans les réactions chimiques.
- Utilisation comme échangeurs d'ions pour les traitements de l'eau.

En résumé, les zéolithes sont des matériaux polyvalents utilisés dans diverses applications liées à la catalyse hétérogène et offrent un large éventail de possibilités dans le domaine du raffinage.

### II.7.2.2. Quelques types de zéolithes

**Tableau II.3 :** Caractéristique de certaines zéolithes utilisées dans le raffinage [12].

Zéolithe & structure des pores	Diamètre des pores	Le rapport Si/Al	La taille relative des pores
Faujasite (Y), 3-D,	7,4 Å	1,5 – 3,0	Larges pores

## Généralités sur le craquage

Zéolithe Beta, 3-D,	7,3 x 6,5 & 5,6 x 5,6 Å	10 - 100	Larges pores
Mordénite, 2-D,	7 x 6,5 & 5,7 x 2,6 Å	4,5- 5,5	Larges pores
Linde type L, 1-D,	7,1 Å	4,5- 12	Larges pores
Linde type A	4,1 Å	1-1,5	Petits pores
ZSM-5	5,4 x 5,6 Å	7-100	Pores moyens
ZSM-12, 1-D,	5,6 x 6,1 Å	30-50	Larges pores

### II.7.2.3. Les zéolithes dans les procédés industriels

L'utilisation des zéolithes du tableau II.4 dans le procédé de craquage catalytique a apporté une révolution dans l'industrie du raffinage, offrant une meilleure valorisation et amélioration des produits pétroliers. Les catalyseurs FCC sont composés de microsphères de zéolithe de type FAU (faujasite) intégrées dans une matrice contenant des éléments catalytiquement actifs, un diluant de type kaolinite et un liant assurant la cohésion.

Les catalyseurs commerciaux contiennent généralement 10% à 15% d'oxyde d'aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et 85% à 90% de silicate. Les zéolithes sont caractérisées par divers tests analytiques qui renseignent sur la force, la structure, le nombre et la répartition des sites acides. D'autres tests fournissent des informations sur la surface et la distribution des pores, notamment le paramètre de la maille élémentaire en "Å", la teneur en terre rare et la teneur en sodium.

En résumé, l'utilisation des zéolithes dans le craquage catalytique a permis d'améliorer la valorisation des produits pétroliers. Les catalyseurs FCC contiennent des microsphères de zéolithe FAU intégrées dans une matrice avec d'autres composants. Les tests analytiques permettent de caractériser les propriétés des zéolithes, tels que la force et la répartition des sites acides, ainsi que la structure des pores.

**Tableau II.4 :** La composition et les caractéristiques structurales de quelques zéolithes [20].

Nature zéolithes	Composition chimique	d	Densité gr/cm <sup>3</sup>	d.f.a.c. Å°	Volume poreux cm <sup>3</sup> /gr
<b>Zéolithe A</b>	Na <sub>12</sub> (AlO <sub>2</sub> ) <sub>12</sub> (SiO <sub>2</sub> ) <sub>12</sub>	27	1.33	4.2	0.20
<b>Faujasite</b>	(Na <sub>2</sub> ,K <sub>2</sub> ,Ca) <sub>29,5</sub> (AlO <sub>2</sub> ) <sub>59</sub>	235	1.31	8-10	0.35
<b>Zéolithe X</b>	Na <sub>86</sub> (AlO <sub>2</sub> ) <sub>86</sub> (SiO <sub>2</sub> ) <sub>106</sub>	264	1.31	8-10	0.36

## Généralités sur le craquage

<b>Zéolithe Y</b>	Na <sub>56</sub> (AlO <sub>2</sub> ) <sub>56</sub> (SiO <sub>2</sub> ) <sub>136</sub>	264	1.30	8-10	0.35
<b>Mordonite</b>	Na <sub>8</sub> (AlO <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> (SiO <sub>2</sub> ) <sub>40</sub>	24	1.72	4 à au 7	0.14

### II.7.2.4. Type de zéolithe "Y" utilisé dans le FCC

Différentes formes de zéolite Y peuvent être présentes dans la figure II.5 des catalyseurs du procédé FCC, en fonction des objectifs d'activité et de sélectivité souhaités.

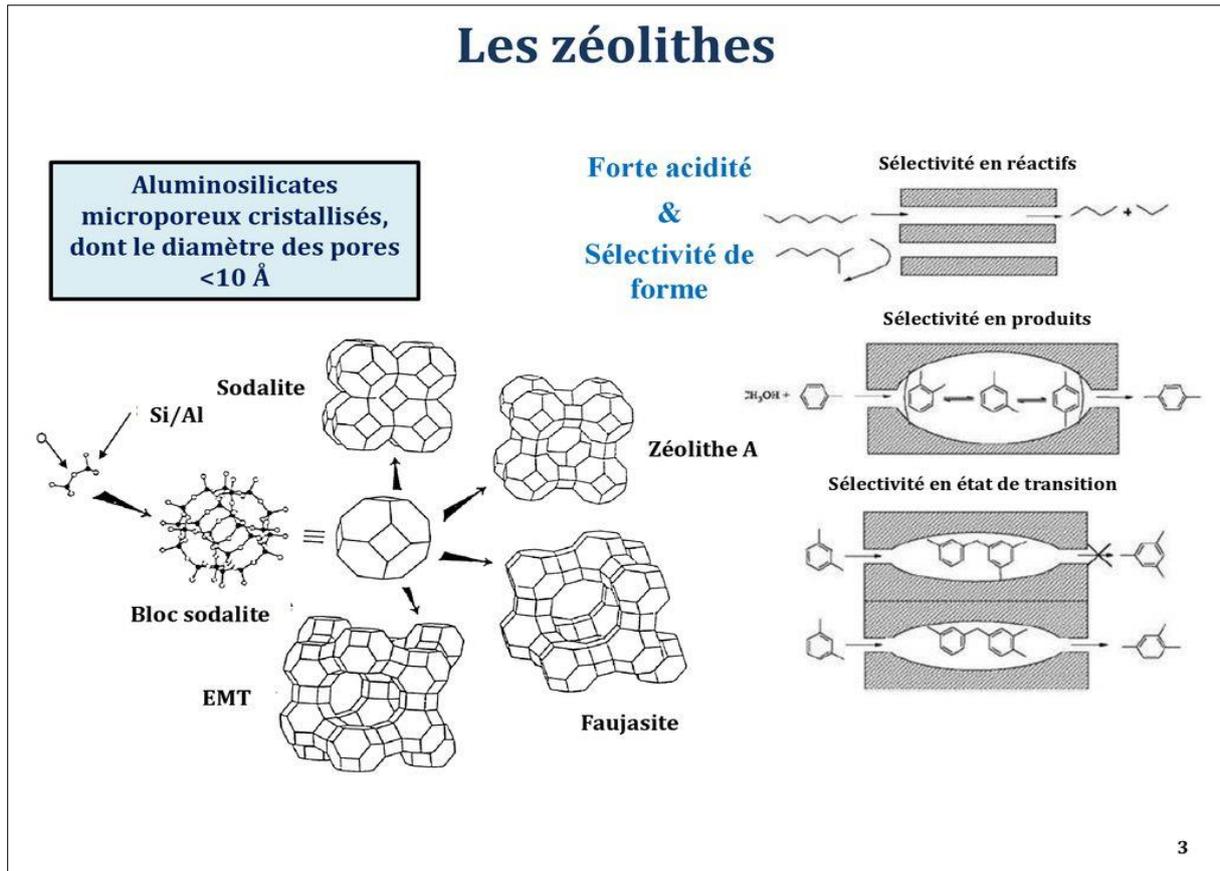
-REY : Cette forme de zéolite Y possède une forte densité d'acide (high UCS), ce qui favorise le transfert d'hydrogène. Cela conduit à la production de coke à faible indice d'octane et d'essence à haut rendement.

-HUSY : Cette zéolite Y présente une densité d'acide extrêmement faible ( $UCS \leq 24,26$ ), ce qui limite le transfert d'hydrogène. Cela réduit la formation de coke et augmente l'indice d'octane de l'essence, bien que le rendement de celle-ci soit légèrement inférieur.

-REHY et REHUSY : Ces formes de zéolite Y offrent une performance intermédiaire entre REY et HUSY, et leur performance est étroitement liée à la teneur en terres rares.

-DY : Par des traitements chimiques appropriés de la zéolite HUSY, on peut éliminer tout ou partie des éléments favorisant l'adsorption faible (EFAL). La zéolite DY ainsi obtenue présente une activité légèrement supérieure à celle de la forme HUSY et une moindre propension à produire du coke.

En résumé, les catalyseurs du procédé FCC peuvent contenir différentes formes de zéolite Y, chacune ayant des propriétés spécifiques d'activité et de sélectivité. La zéolite REY favorise la production d'essence à haut rendement mais avec un indice d'octane faible, tandis que la zéolite HUSY réduit la formation de coke et améliore l'indice d'octane de l'essence. Les formes REHY, REHUSY et DY présentent des performances intermédiaires et peuvent être modulées par la teneur en terres rares [20].



**Figure II.5:** Schéma de la composition des catalyseurs de FCC et de leur fonction [35].

### II.7.2.5. Désactivation et régénération des zéolithes

La cokéfaction est une réaction complexe qui implique plusieurs étapes, telles que la condensation et le transfert d'hydrogène des biomolécules. Le coke ainsi formé peut réduire l'activité des catalyseurs poreux de plusieurs façons. Il peut empêcher l'accès des molécules de réactif aux sites actifs, bloquer ces accès, limiter leur nombre et empêcher les réactifs d'atteindre les sites actifs situés dans des cages sans molécules de coke.

Dans le cas des zéolithes tridimensionnelles sans cages piégeantes, ces modes d'inactivation peuvent se produire de manière séquentielle. La régénération des catalyseurs zéolithiques est généralement réalisée en brûlant simplement le coke sous un courant d'air chaud. Le choix des conditions de régénération est crucial pour prévenir la dégradation de la structure de la zéolithe.

# Chapitre III

Description du craquage  
catalytique de fluide résiduel  
(RFCC)

## Chapitre III

### Description du procédé de résidu fluidisé du craquage catalytique

#### III.1. Description du procédé de résidu fluidisé du craquage catalytique (RFCC)

Le procédé RFCC (craquage catalytique des fluides résiduels) vise à convertir les fractions de pétrole brut lourd en produits hydrocarbonés plus légers et de plus grande valeur. Cela se fait à des températures élevées et à une pression réduite, en présence d'un catalyseur contenant des particules fines de silice et d'alumine.

La charge utilisée dans le procédé RFCC est le résidu (BRA) provenant de la partie inférieure de la colonne de distillation atmosphérique de l'unité (U100).

La charge, sous forme de vapeur, ainsi que le catalyseur circule à travers une chambre de réaction. Le catalyseur, toujours mélangé avec les hydrocarbures, se vaporise et forme un lit à l'intérieur de la chambre. Les vapeurs passent craquées à travers des cyclones situés au-dessus de la chambre de réaction, ce qui provoque l'éjection du catalyseur en poudre en le séparant des vapeurs grâce à la force centrifuge.

Les vapeurs craquées sont ensuite introduites dans une colonne de fractionnement, où elles sont séparées en différents produits tels que le gasoil lourd, l'essence, les gaz et d'autres fractions lourdes. En raison de la présence de coke qui contamine le catalyseur, celui-ci est régulièrement retiré du bas du réacteur sans interruption du processus. Il est ensuite acheminé vers un régénérateur, où le coke est éliminé par une combustion contrôlée [9].

Une fois régénéré, le catalyseur est transporté et réinjecté avec la charge fraîche. La chaleur du catalyseur est suffisante pour vaporiser la charge fraîche avant qu'elle n'atteigne le réacteur.

##### III.1.1. Objectif du procédé de l'unité catalytique de fluide résiduel (RFCC)

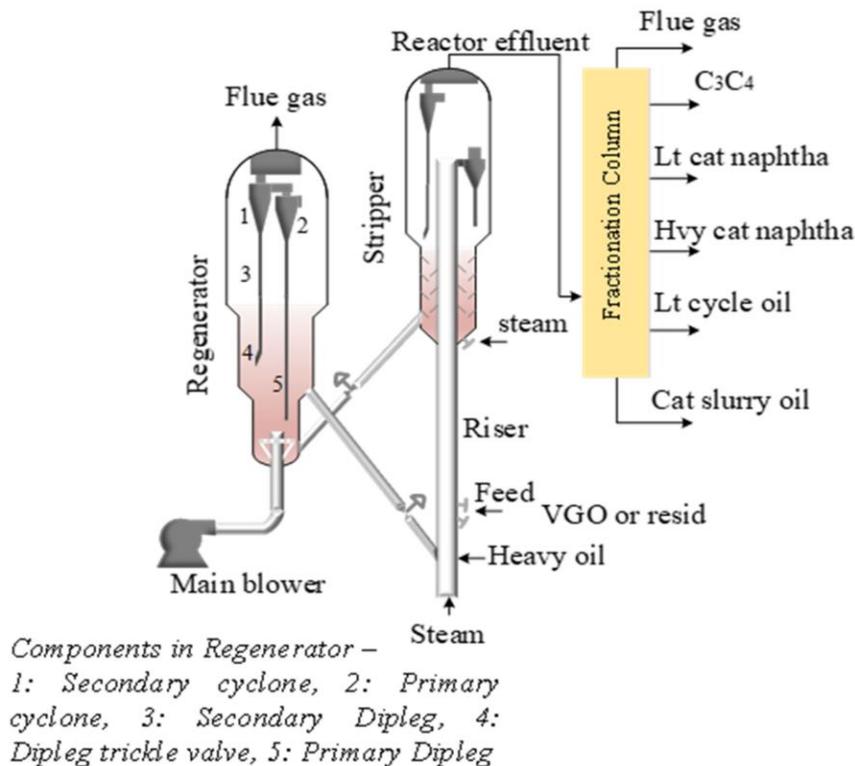
Pour le traitement du pétrole brute va directement à l'unité de distillation atmosphérique est fractionné à travers une colonne.

Par contre le résidu atmosphérique qui sorte au fond de la colonne ca coute moins chers, et pour augmenté l'économie de cette raffinerie ils ont ajouté une autre unité qui s'appelle (RFCC) craquage catalytique de fluide résiduel pour traité ce résidu atmosphérique, est d'avoir le maximum de produits à haute valeur marchande.

## III.2.Principe de fonctionnement de procéder RFCC

Le procédé RFCC présenté dans cette figure III.1 les trois principales sections:

- Section réacteur-régénérateur
- Section de fractionnement
- Section concentration des gaz



(a)

(b)

Figure III.1 : Schéma du procédé RFCC [36].

### III.2.1.Section réacteur-régénérateur

La figure III.2 présente un FCC actuel équipé d'un régénérateur à haut rendement. La charge d'huile brute est pompée et préchauffée à l'aide d'une série d'échangeurs de chaleur, incluant ceux du gazole de craquage catalytique et du fond de colonne principale. L'huile brute préchauffée ainsi que la vapeur sont fournies dans le riser-réacteur à une distance d'environ 7 mètres (20 pieds) depuis le bas du riser.

Dans ce processus, la charge est en contact avec une quantité contrôlée de catalyseur régénéré et d'un milieu de sustentation (lift). Le débit de catalyseur est régulé pour maintenir la température requise dans le réacteur. Le catalyseur régénéré, qui est chaud, vaporise la charge, et les vapeurs entraînent le catalyseur vers le haut du riser 530-R-001 avec un minimum de mélange inverse [10].

## Description du procédé de résidu fluidisé du craquage catalytique

---

Le craquage produit pendant que les vapeurs d'hydrocarbures et le catalyseur remonte le riser. Les réactions de craquage se produisent en l'espace de 2 à 3 secondes, le temps nécessaire pour que le catalyseur et les vapeurs d'hydrocarbures atteignent le sommet du riser. Une fois en haut du riser, les réactions de craquage sont terminées, et le catalyseur est rapidement séparé des vapeurs d'hydrocarbures pour minimiser toute réaction de craquage ultérieure.

Les vapeurs produites dans le réacteur contrôlent la ligne de vapeur du réacteur et se dirigent vers la colonne principale 530-C-021. Là, elles se condensent et se fractionnent en plusieurs produits. Parmi ces produits, on retrouve des gaz coproduits, de l'essence FCC, des gazoles de craquage catalytique, ainsi que des produits résiduels lourds issus du fond de la colonne.

Lors du processus de craquage, un sous-produit carboné appelé coke se dépose sur le catalyseur utilisé. Ce catalyseur utilisé chute de la chambre du réacteur vers la section de stripping, où un flux de vapeur circulant en sens inverse évacue à la fois les vapeurs d'hydrocarbures interstitielles et certaines vapeurs adsorbées. Le catalyseur dépouillé quitte le stripper du réacteur et s'écoule à travers une conduite verticale dédiée, appelée conduite de catalyseur usagé, jusqu'au régénérateur où le coke est conservé brûlé [10].

Le flux de catalyseur dans la conduite verticale de catalyseur utilisé est réglé pour maintenir un équilibre avec le flux de catalyseur en circulation, assurant ainsi un niveau constant de catalyseur dans le réacteur.

Dans le régénérateur 530-R-002, la chaleur générée par la combustion élève la température du catalyseur dans une plage allant de 648 °C à 746 °C (1 200 °F à 1 375 °F). L'objectif de ce processus de régénération est de restaurer l'activité du catalyseur usagé afin qu'il puisse remplir efficacement sa fonction de craquage une fois réintroduit dans le riser-réacteur.

Le régénérateur a pour rôle de brûler le coke obtenu sur les particules de catalyseur et de transférer de la chaleur au catalyseur en circulation. L'énergie transportée par le catalyseur régénéré et chaud est utilisée pour vaporiser et réchauffer la vapeur d'huile à la température de réaction nécessaire dans le riser. De plus, il fournit la chaleur réactive nécessaire pour effectuer le craquage de la charge d'alimentation selon le niveau de conversion recherché.

Le catalyseur régénéré, maintenu à une température élevée, est pré-accélééré avec le milieu de sustentation (gaz sec provenant de la section de l'absorbeur de l'unité de concentration des gaz ou de la vapeur) au bas du riser-réacteur avant d'entrer en contact avec le flux d'alimentation en hydrocarbures lors de sa remontée dans le riser [10].

Le régénérateur 530-R-002 fonctionne normalement dans des conditions favorisant une combustion complète du CO en CO<sub>2</sub>. Cependant, la température de combustion peut varier en cas de combustion partielle du CO si les conditions de traitement permettent une production

## Description du procédé de résidu fluidisé du craquage catalytique

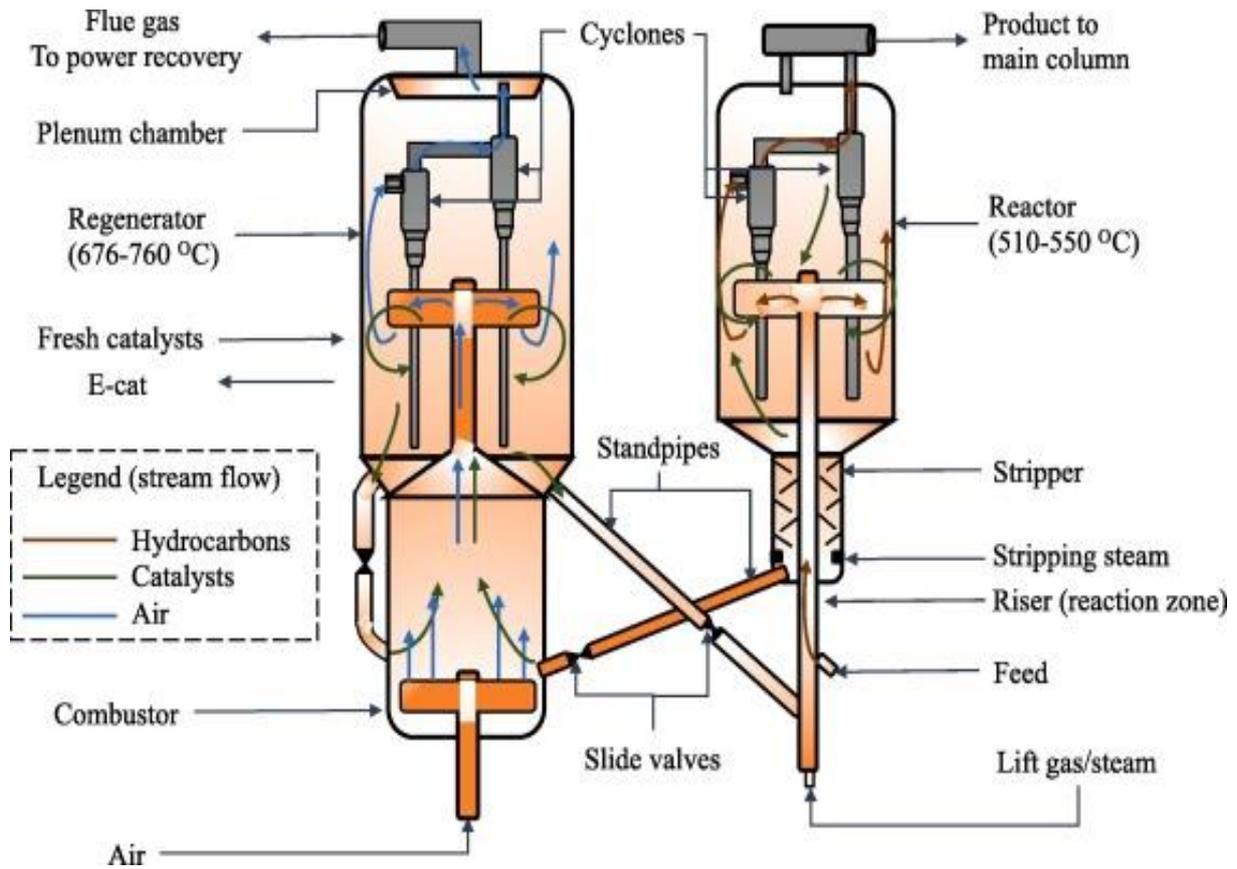
---

de chaleur réduite. Pour apporter un complément de chaleur à la section de la chambre de combustion et accélérer la cinétique de combustion, le régénérateur est équipé d'une conduite verticale de recirculation du catalyseur, fournissant du catalyseur régénéré chaud provenant du régénérateur à la chambre de combustion. Le flux de catalyseur de recirculation est régulé pour maintenir la température requise de la chambre de combustion.

Au démarrage, un réchauffeur d'air est utilisé pour fournir la chaleur au système jusqu'à ce que la température du catalyseur atteigne un niveau suffisamment élevé pour une régénération automatique. De plus, la présence d'un catalyseur 530-E-001 permet de modérer les températures du régénérateur lors du traitement d'alimentations présentant un taux plus élevé de carbone Conradson. Ce catalyseur génère également de la vapeur HP (haute pression).

Les gaz de combustion passent à travers des séparateurs cycloniques afin de réduire au minimum l'entraînement de catalyseur, puis ils sont évacués par le régénérateur. La pression des gaz de combustion est réduite lorsqu'ils traversent la chambre à orifice 530-D-004. La chaleur sensible des gaz de combustion chauds est récupérée grâce à un générateur de vapeur de gaz de combustion 530-G-001. Le catalyseur perdu par le régénérateur est récupéré dans un précipitateur électrostatique [10].

Afin de maintenir l'activité du catalyseur à un niveau optimal et de compenser toutes les pertes de catalyseur du système, le catalyseur frais est introduit dans le circuit de circulation à partir d'une trémie de stockage dédiée. Une trémie de stockage équilibré est prévue pour contenir le catalyseur régénéré retiré du système de circulation, si nécessaire, afin de maintenir l'activité d'exploitation requise et de fournir le catalyseur lors des phases de démarrage.



**Figure III.2:** Unité de craquage catalytique section réacteur-régénérateur [36].

### III.2.1.1. Description du réacteur (530-R-001) de l'unité RFCC

Le fonctionnement du Réacteur 530-R-001 de l'unité RFCC de la raffinerie d'Alger est basé sur le principe illustré dans la (figure III.3). Ce réacteur se caractérise par la présence des composants suivants :

#### III .2.1.1.1. Riser

Le riser, qui est un réacteur tubulaire d'une longueur de trente mètres et d'un diamètre d'un mètre, est l'endroit où se déroule la réaction de craquage. Le catalyseur ne reste que quelques secondes dans le riser. À son entrée, le catalyseur est à une température plus élevée que la charge, ce qui permet de fournir la chaleur nécessaire à la vaporisation. Dans des conditions normales, le rapport entre les débits massiques de l'alimentation et du catalyseur varie de 4 à 9. Un rapport L/C de 4 à 9 indique que, pour chaque unité de masse de catalyseur, il y a de 4 à 9 unités de masse d'alimentation. Cela signifie que le débit massique de l'alimentation est de 4 à 9 fois plus élevé que le débit massique du catalyseur.

En raison de la présence d'un mélange de différentes espèces chimiques qui réagissent à des vitesses variables, les réactions chimiques des fractions pétrolières dans le FCC sont multiples et complexes. Afin de mieux comprendre et modéliser le processus de craquage catalytique des coupes pétrolières, des modèles ont été développés et utilisés [11].

### III.2.1.1.2.Désengageur

En général, la séparation entre les produits craqués et le catalyseur utilisé se produit dans la zone de séparation située en amont de la colonne montante. Cette zone comprend généralement une séparation primaire à la sortie du riser, suivie d'une séparation secondaire effectuée par un cyclone [12].

Dans le but d'éviter toute contamination des gaz hydrocarbonés par les particules de catalyseur, un séparateur à cyclone à deux étages a été intégré dans le réacteur de l'unité RFCC (U530).

Il convient de noter que le séparateur à cyclone ne participe pas aux réactions chimiques, ce qui implique qu'il est en équilibre thermique avec la section de séparation [12].

### III.2.1.1.3.Stripper

Il s'agit de la zone finale de séparation entre les gaz et le catalyseur utilisé restant. Le catalyseur utilisé est dirigé vers un strippeur placé au bas du réacteur, où les hydrocarbures résiduels à sa surface sont éliminés grâce à l'injection de vapeur. Ensuite, le catalyseur utilisé est acheminé vers le régénérateur via une conduite de transfert.

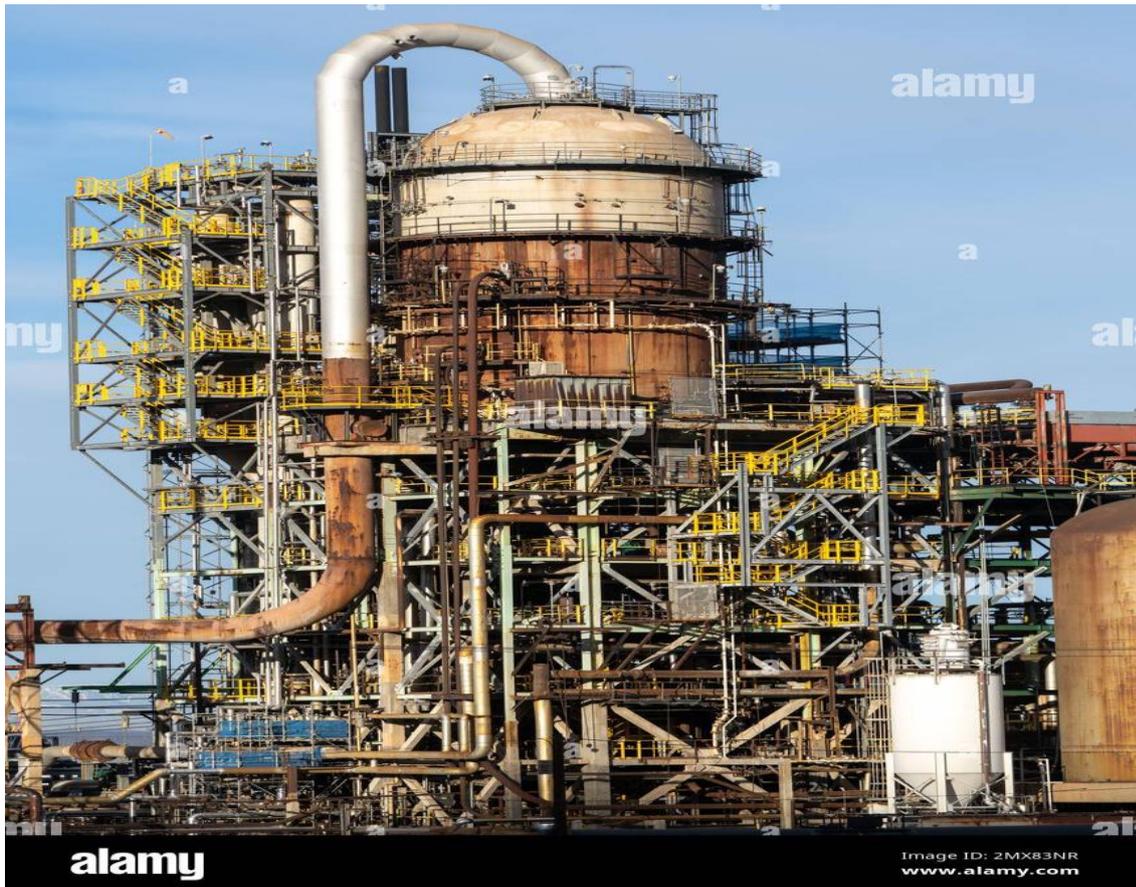


Figure III.3 : Dispositif d'un réacteur [36].

## Description du procédé de résidu fluidisé du craquage catalytique

### III.2.1.1.4. Alimentation en Charge du réacteur

L'unité RFCC a été conçue pour traiter un débit d'alimentation total de 1 000 000 tonnes par an (20 754 barils par jour) de gazole lourd (d'exploitation) et de résidu atmosphérique (RGO) provenant de l'unité de distillation atmosphérique (ADU) [13].

-La capacité minimale de l'unité est de 50 %.

-Le coefficient d'utilisation est de 8 000 heures par an.

-La période d'arrêt technique est d'au moins 3 ans.

**Tableau III.1 : Propriétés de la charge RFCC**

Propriété	Assay 1		Méthode de test
Point de fractionnement TBP, °C	360 +		
Gravité API	23.97		ASTM-1298
	<b>Gazole lourd</b>	<b>RGO</b>	
Débit (t/an)	106 000	894 000	
Gravité spécif.	0.8709	0.915	
Distillation, °C (% en volume liquide) :			ASTM D86 pour le gazole lourd
5%	301.8	318.7	ASTM D1160 pour RGO
10%	316.0	361.8	
30%	342.9	415.1	
50%	357.2	479.5	
70%	366.6	585.5	
90%	382.6	723.5	
95%	390.2	761.3	
UOP K	12.07		
Viscosité, cst à 99°C	17.0		
Soufre total, % en poids	0.204		ASTM D-1552
Azote total, poids en ppm	588		ASTM D-4629
Carbone Conradson, % en poids	4.37		ASTM D-189
Nickel, ppm en poids	1		UOP 389
Vanadium, ppm en poids	1		UOP 389
Sodium, ppm en poids	0.84		UOP 389
Fer, ppm en poids	0.21		UOP 389
Paraffines, % en poids	52.5		UOP 880

## Description du procédé de résidu fluidisé du craquage catalytique

---

L'unité RFCC a été conçue pour deux types de pétrole brut différents, appelés "Assay 1" et "Assay 2". La conception est principalement basée sur "Essai 1". Ainsi, l'ensemble du design des procédés a été développé pour ce type de brut compte tenu de deux modes d'exploitation différents (Assay 2 est considéré comme un cas de vérification) : [13].

-Maximisation de la production de LCO (mode de distillation maximal).

-Maximisation du Naphte RFCC (mode de production maximale d'essence).

Les garanties de produit sont définies en fonction du fonctionnement du RFCC en mode de distillation maximal. L'unité RFCC est conçue pour traiter la totalité de la charge chaude provenant directement de l'unité de distillation du brut, et elle est capable de traiter jusqu'à 60 % de la charge froide provenant du stockage.

En plus de ce qui a été mentionné précédemment, il est également nécessaire que la section de concentration des gaz du RFCC traite le flux d'effluents gazeux provenant de l'unité d'hydrotraitement du naphta (NHT - U500).

La charge du réacteur (Riser) (530-R-001) est composée du mélange suivant : résidu atmosphérique chauffé, une fraction recyclée du slurry et de l'huile de recyclage HCO (Heavy Cycle Oil). À l'entrée du réacteur, la charge est transformée en fines gouttelettes grâce à l'injection de vapeur [13].

### **III.2.1.1.5. Formation de coke**

On observe généralement la formation de dépôts de coke dans toutes les unités RFCC en fonctionnement, principalement dans le réacteur (zone de désengagement), le riser et les couples de cyclones. Ces dépôts de coke sont souvent responsables de problèmes graves, tels qu'une chute de pression s'accumule. La présence de cette couche de coke réduit considérablement le débit et la circulation dans les canalisations de transfert. La forme et l'épaisseur de ces dépôts de coke peuvent varier, atteignant parfois jusqu'à 100 mm ou même plus.

### **III.2.1.1.6. Nature et formes du coke déposé à l'intérieur du réacteur 530-R-001**

La création de coke est souvent observée à l'intérieur du réacteur, où il se forme comme une couche noire très adhérente sur les parois métalliques des composants internes et sur les revêtements des parois du dispositif (cyclones, dôme de concentration des gaz, cloisons, grilles, conduites, anneaux de vapeur et piquages d'instruments de mesure). Le coke se dépose souvent sur les fûts des cyclones à 180 degrés à l'extérieur de la volute d'entrée, donc hors de vue.

La présence de coke dans les cyclones peut être particulièrement gênante, car les fragments de coke qui descendent dans le tube plongeant peuvent réduire le débit de catalyseur ou bloquer

## Description du procédé de résidu fluidisé du craquage catalytique

---

la vanne à clapet. La formation de coke se produit également au niveau des piquages des instruments de mesure, ce qui peut entraîner une augmentation de la chute de pression dans la buse.

De plus, la formation de coke est fréquente dans la ligne de transfert entre la tête du réacteur et la colonne de fractionnement, en particulier au niveau des coudes.

### **III.2.1.2. Description du régénérateur (530-R-002) de l'unité RFCC**

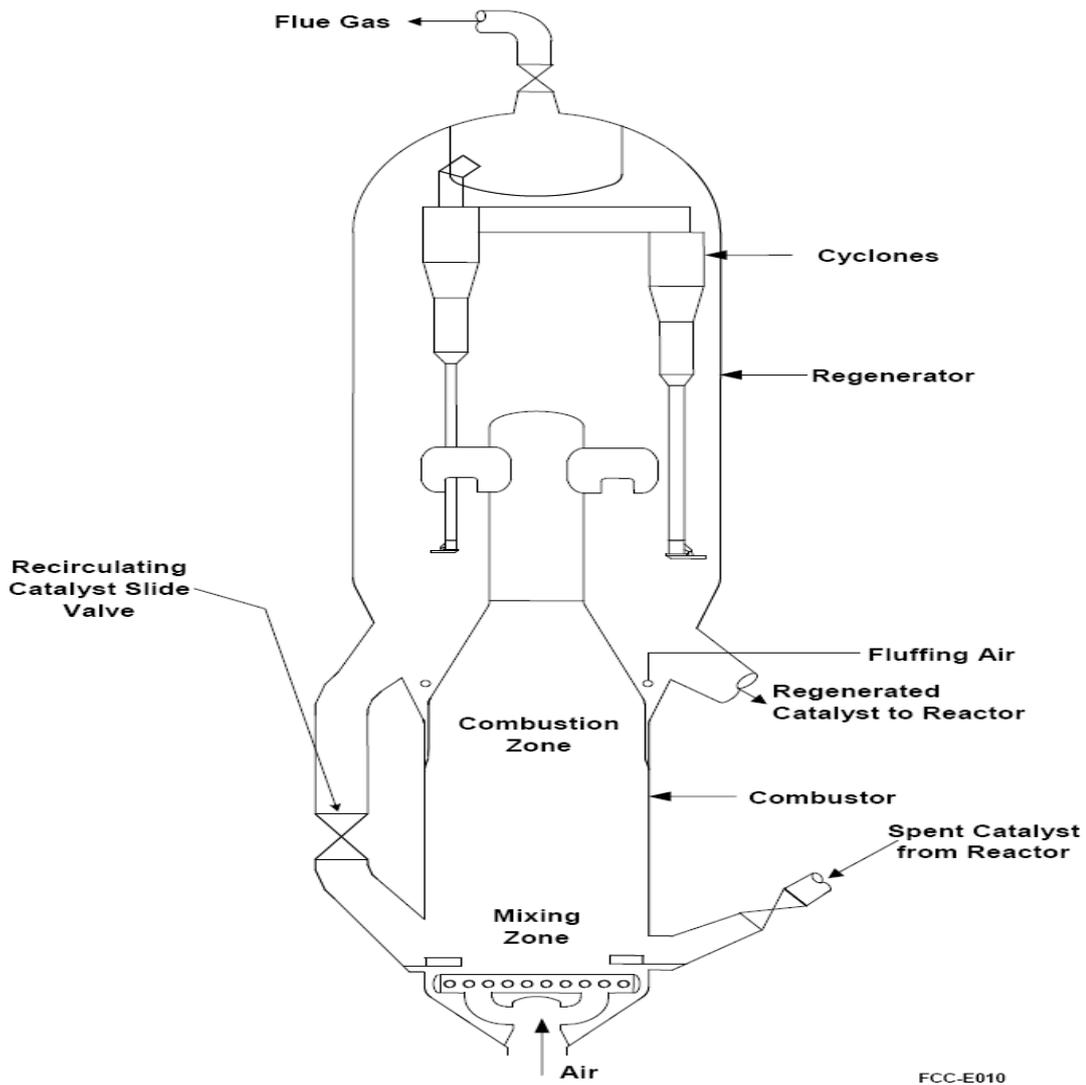
Le régénérateur (530-R-002) occupe une fonction essentielle au sein de l'unité RFCC (U530).

Il remplit deux fonctions principales :

- La réactivation du catalyseur en brûlant le coke déposé.
- La fourniture de la chaleur nécessaire à la réaction de craquage endothermique dans la colonne montante.

Le catalyseur subit un processus de régénération par combustion en lit fluidisé dense. Une fois régénéré, le catalyseur est réintroduit au bas du riser pour un nouveau cycle de réaction. Au sein du régénérateur, le catalyseur est réactivé en brûlant le coke extrait à sa surface à l'aide d'air injecté au fond du régénérateur. Cette réaction de combustion sert également à maintenir la température du lit entre 650 °C et 700 °C pour le craquage.

Le catalyseur régénéré est toujours renvoyé vers le riser à travers un circuit supplémentaire qui comprend un tiroir. Ce tiroir a pour rôle de contrôler le débit du catalyseur régénéré, de maintenir une pression adéquate dans le régénérateur et d'empêcher tout reflux indésirable. Le régénérateur (530-R-002) de l'unité RFCC fonctionne selon le principe d'un lit fluide composé de deux parties distinctes, appelées le lit dense et la zone réduite [10].



**Figure III.4 :** Régénérateur à chambre de combustion [3].

### III.2.2. Section de fractionnement

Les vapeurs des produits du réacteur s'écoulent vers la colonne principale présentée dans la figure III.5 en tête de laquelle sont envoyés de l'essence non stabilisée et des coproduits gazeux riches en oléfines. La fraction d'essence est condensée à partir des matières de tête dans le système condenseur de tête et collectée dans le récepteur de tête de la colonne principale. Une partie du liquide provenant du récepteur de tête est renvoyée dans la colonne principale sous forme de reflux. La quantité nette de vapeur et liquide est ensuite envoyée dans l'unité de concentration des gaz [13].

Le naphta lourd et le gazole léger sont récupérés sous forme de produits de coupe latérale coupés latéralement et le rendement net de ces matières étant strippé pour élimination des fractions légères et envoyé vers d'autres traitements ou en stockage. Le fond de colonne net

## Description du procédé de résidu fluidisé du craquage catalytique

---

échange de la chaleur avec l'huile brute et l'eau de refroidissement avant de s'écouler vers la colonne de distillation sous vide.

Le gazole lourd ou le fond de colonne de distillation sous vide (530-C-023) peuvent être recyclés dans le riser 530-R-001 ou dans le réservoir tampon d'alimentation 530-D-021. Cela se fait généralement pendant un fonctionnement en mode de basse conversion lorsque l'augmentation de la production de LCO est souhaitée.

La chaleur transportée jusqu'à la colonne principale par les vapeurs chaudes des effluents du réacteur est exploitée au maximum. Les gazoles lourds et légers en circulation sont utilisés dans la section de concentration des gaz à des fins d'échange de chaleur. Des flux complémentaires de fond de colonne principale et de fond de colonne de distillation sous vide (530-C-023) sont utilisés pour le préchauffage de la charge d'huile brute et la production de vapeur [13].

### **III.2.2.1. Vapeurs de tête de la colonne de fractionnement (530-C-021)**

Après la séparation des produits dans la colonne, les vapeurs de tête subissent un processus de refroidissement à travers les échangeurs, les aéroréfrigérants et les condenseurs. Finalement, le mélange biphasique constitué de liquide et de gaz est récupéré dans le ballon de séparation à une température d'environ 40 °C. La phase liquide du ballon est aspirée par une pompe et refoulée dans deux directions distinctes :

- Une première partie est dirigée vers la colonne d'absorption.
- Une deuxième partie est renvoyée vers la section terminale du riser (réacteur).

### **III.2.2.2. Gasoil Leger L.C.O (light cycle oil)**

Le flux de LCO circulant dans l'unité joue généralement un rôle de source de chaleur pour le réchauffeur du stripper de l'unité de concentration de gaz ainsi que pour l'échangeur d'alimentation du débutaniseur. Le débit de chaque échangeur est régulé par un régulateur de débit en fonction des besoins du processus. Une partie du flux de LCO, après avoir échangé de la chaleur dans le réchauffeur du stripper, est dirigée vers l'absorbeur éponge sous forme d'huile "pauvre". Son rôle est d'adsorber les composants de la chaîne légère de l'essence provenant des gaz légers dans la section de concentration des gaz. L'huile "riche" provenant de l'absorbeur éponge est renvoyée dans la colonne principale en même temps que le flux de LCO refroidi [13].

Dans la plupart des installations, on trouve un décapant LCO qui permet d'ajuster le point d'éclair du produit LCO. Selon la configuration de l'usine, les fractions légères du LCO sont éliminées soit par stripping à la vapeur. Cela permet de retirer les composants volatils du LCO afin d'atteindre les spécifications requises en termes de point d'éclair.

## Description du procédé de résidu fluidisé du craquage catalytique

---

Le produit LCO peut échanger de la chaleur avec l'eau d'alimentation de la chaudière avant d'être refroidi par un activé d'air et avec de l'eau dans un activé de produit, puis il est envoyé au stockage. Le débit vers le stockage est régulé par un régulateur de débit. Le débit de soutirage LCO contrôle également la température de fond de colonne principale. La quantité de LCO produite dépend des conditions de fonctionnement, de la qualité de la charge d'alimentation et du type de catalyseur utilisé. Le LCO strippé peut être utilisé comme huile pour torchère, pour le nettoyage des instruments et comme huile de lubrification pour les joints des pompes.

### **III.2.2.2.1. Refroidissement du gasoil**

Après le décapage, le gasoil est extrait par la pompe (530-P-030A/B). Il échange de la chaleur avec le résidu atmosphérique dans l'échangeur (530-E-024) ainsi que dans l'échangeur (530-E-053), et enfin dans l'aéroréfrigérant (530-EA-020). En quittant l'aéroréfrigérant, le gasoil est refoulé dans deux circuits distincts. L'autre partie passe à travers le condenseur où elle est refroidie, puis elle est dirigée vers la colonne d'absorption secondaire au niveau du premier plateau en tant que liquide d'absorption.

### **III.2.2.3. Le gasoil lourd de recyclage H.C.O (Heavy Cycle Oil)**

Le gasoil lourd HCO n'est pas destiné à être un produit final, il est recyclé dans le réacteur pour maintenir l'équilibre thermique. Le HCO, une huile lourde recyclée, est directement introduit dans le ballon à partir du 27ème plateau de la colonne de fractionnement (530-C-021). Il est aspiré par la pompe et refoulé dans deux directions différentes : [12].

-La première partie du HCO revient au niveau du 28ème plateau de la colonne de fractionnement (530-C-021).

-La deuxième partie est mélangée avec le résidu atmosphérique BRA et utilisée comme chargée dans le réacteur (530-R-001).

### **III.2.2.4. Le produit du fond de la colonne (530-C-021)**

La pompe (530-P-030) aspire le produit de fond appelé "slurry" et le refoule pour échanger de la chaleur avec le reflux moyen dans l'échangeur (530-E-025A\B\C), puis avec la vapeur saturée dans l'échangeur (530-E-020A\B). Après avoir traversé l'échangeur (530-E-028) à une température d'environ 260°C, le produit "slurry" est divisé en deux parties : [12].

-Une partie du slurry retourne à la base de la colonne de fractionnement en tant que reflux de fond.

-L'autre partie est filtrée dans le filtre de slurry pour séparer les fines particules de catalyseur entraînées par l'effluent, puis refroidie dans le condenseur à une température de 90°C, avant d'être envoyée au stock en tant que combustible pour les chaudières.

### **III.2.2.5. Les reflux de colonne fractionnement**

#### **III.2.2.5.1. Reflux de tête**

À partir du 4<sup>ème</sup> plateau de la colonne de fractionnement, il est extrait par une pompe et passe à travers les échangeurs, où il transfère sa chaleur à l'eau chaude à une température de 90°C, puis à l'aéroréfrigérant à une température de 80°C. Ensuite, il est renvoyé à la colonne de fractionnement au niveau du plateau numéro 1.

#### **III.2.2.5.2. Reflux moyen**

À partir du 17<sup>ème</sup> plateau de la colonne de fractionnement, il est extrait par une pompe. Il échange de la chaleur avec le produit du fond de la colonne, appelé "slurry", dans l'échangeur. Ensuite, il transmet cette chaleur au rebouilleur du "débutaniseur", qui est la colonne stabilisatrice, et au rebouilleur du "dééthaniseur", ainsi qu'à l'eau chaude dans l'échangeur. Finalement, il retourne à la colonne de fractionnement, contrôlé par la TRC, à une température de 190°C, au niveau du 14<sup>ème</sup> plateau.

#### **III.2.2.5.3. Reflux du fond**

Le reflux le plus important qui circule dans la colonne est le "slurry", un circuit utilisant de l'huile lourde contenant de fines particules de catalyseur perdues par les cyclones du réacteur.

Il a plusieurs rôles à remplir :

- Il réalise la première désurchauffe des vapeurs.
- Il assure un lavage efficace de la zone de charge pour éviter l'accumulation de coke et une distribution incorrecte des vapeurs.
- Il assure un sous-refroidissement afin d'éviter une dégradation thermique qui pourrait entraîner la formation de dépôts de produits lourds polymérisés, pouvant provoquer l'obstruction des échangeurs lors des arrêts de fonctionnement.

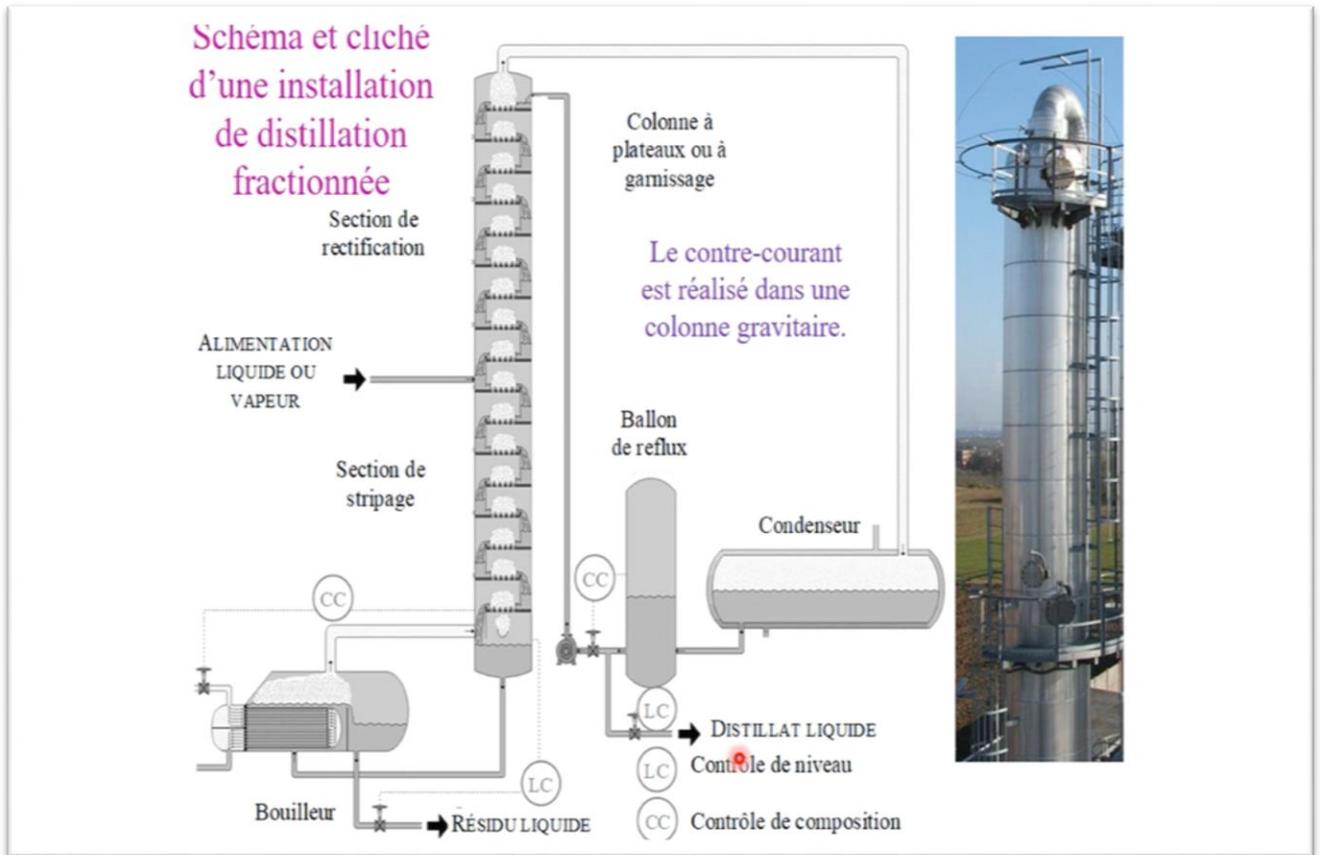


Figure III.5 : Section de fractionnement [37].

### III.2.3. Section concentrations des gaz

Le processus de concentration des gaz dans une unité de traitement commence par séparer le gaz pauvre non condensable des composants plus lourds, en utilisant un système de stripper-absorbeur. Préalablement, le gaz provenant de l'unité de traitement des gaz est comprimé et refroidi à l'aide d'un compresseur de gaz humide avant d'être introduit dans le système de stripper-absorbeur [13].

Le système de stripper-absorbeur permet aux gaz du compresseur de se mélanger à d'autres flux, puis de passer par les refroidisseurs haute pression et le récepteur haute pression. Dans ce processus, le gaz riche du récepteur haute pression est purifié en utilisant de l'essence craquée afin de récupérer des produits de valeur tels que le butane et le propane.

Le gaz provenant de l'absorbeur primaire descend le long de l'absorbeur éponge, où les composés C5+ restants sont éliminés grâce à un contact avec une huile pauvre. Le gaz pauvre est dirigé vers l'unité de traitement par amine du fuel gas, et une partie de celui-ci peut être réutilisée dans l'unité FCC [13].

Le récepteur haute pression contient de l'huile riche contenant des composants indésirables tels que du gaz sec (C2-) et du disulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S). Pour les éliminer, le liquide est

## Description du procédé de résidu fluidisé du craquage catalytique

---

introduit dans le stripper, où la chaleur du réchauffeur contrôle la quantité de produit éliminée. Les gaz plus légers sont renvoyés vers le bas de l'absorbeur primaire.

Le bas du stripper contient une quantité limitée de C2 et de H2S, qui peut être traitée dans un équipement de fractionnement classique. Le produit résultant est séparé en gaz de pétrole liquéfié (GPL) et en essence dans un débutaniseur. Le GPL est dirigé vers l'unité MÉROX pour éliminer le H2S et les mercaptans, puis il est séparé en butane et propane dans une colonne de séparation. Une partie du produit de fond est réintroduite dans l'absorbeur primaire pour augmenter la récupération de C3 et C4, tandis que le reste est envoyé à une unité de traitement pour éliminer les mercaptans [13].

### III.2.4. Section de gestion de catalyseur

Cette section comprend des bacs de stockage de catalyseur, composée de trois bacs au total : un pour stocker le catalyseur usé et les deux autres pour stocker le catalyseur frais. Le silo est relié au régénérateur par une conduite permettant le transfert du catalyseur. Le silo de catalyseur usé a une capacité supérieure à l'inventaire total de l'unité. Ce volume est nécessaire pour charger l'appareil lors du démarrage ou pour le vider lors de l'arrêt. Le silo de catalyseur frais est équipé d'un module de transfert de catalyseur, un petit volume doté d'un mécanisme automatique qui contrôle le transfert pneumatique d'une quantité spécifique de catalyseur frais vers le régénérateur [13].

### III.3. Produits finis issus du procédé RFCC

L'objectif principal des unités de craquage est d'optimiser la transformation des produits lourds issus de l'unité topping en essence et gaz de pétrole liquéfié (GPL). Les produits résultant du craquage catalytique comprennent :

- 1-GPL : Composés de carbone C1 à C4.
- 2-Essences (léger et lourd).
- 3-Gasoil (léger et lourd).
- 4-Slurry (utilisé comme combustible pour les chaudières).
- 5-Coke.

### III.4. Caractéristiques des produits

Les caractéristiques des produits obtenus lors de la réaction de craquage sont étroitement liées à plusieurs facteurs complexes, tels que :

- 1-La qualité de la charge utilisée.
- 2-Les conditions de fonctionnement.
- 3-Les propriétés et la structure du catalyseur utilisé.

## Description du procédé de résidu fluidisé du craquage catalytique

---

4-La technologie employée.

### **III.5.Trois équilibres à respecter dans le procédé RFCC**

1-La balance carbone (le coke produit dans le réacteur est brûlé dans le régénérateur).

2-La balance thermique (la chaleur générée par la combustion du coke dans le régénérateur est absorbée dans le réacteur pour vaporiser et craquer la charge).

3-La balance de pression (garantit la circulation du catalyseur entre le réacteur et le régénérateur).

# Conclusion

## Conclusion

---

Notre projet de fin d'étude, sur le craquage catalytique, basée sur notre expérience de stage à la raffinerie d'Alger, nous avons pu acquérir des connaissances approfondies sur ce processus clé de raffinage pétrolier.

Au cours de notre stage à la raffinerie d'Alger, nous avons eu l'opportunité de voir de près les opérations de craquage catalytique et de comprendre les défis auxquels l'industrie est confrontée. Nous avons pu observer le fonctionnement des unités de craquage catalytique et constater l'importance de l'efficacité énergétique, de la sélectivité des produits, de la gestion des catalyseurs et de l'impact environnemental.

Nous avons également pu constater l'engagement de la raffinerie d'Alger envers l'étude du processus de craquage catalytique. L'accent mis sur l'amélioration de la sélectivité des produits et la maximisation de la production de carburants légers à haute valeur ajoutée témoigne de l'effort continu pour répondre aux besoins du marché et aux exigences environnementales.

En travaillant aux côtés d'experts de l'industrie, nous avons également pu constater l'importance de la recherche et du développement dans le domaine du craquage catalytique. Les innovations constantes dans la conception de catalyseurs, les techniques de régénération et les approches de capture et de réutilisation du CO<sub>2</sub> sont essentielles pour améliorer l'efficacité, la durabilité et la compétitivité du processus.

Notre expérience à la raffinerie d'Alger nous a permis de prendre conscience des enjeux et des opportunités liés au craquage catalytique. Nous avons acquis une compréhension approfondie des défis techniques et environnementaux auxquels l'industrie est confrontée, ainsi que des efforts déployés pour y faire face.

En conclusion, notre étude et notre stage à la raffinerie d'Alger nous ont fourni une base solide de connaissances et une expérience pratique sur le craquage catalytique. Nous sommes conscients de l'importance de l'optimisation de ce processus pour maximiser la production de carburants légers à haute valeur ajoutée, tout en réduisant l'impact environnemental. Nous espérons que nos travaux contribueront à la recherche continue dans ce domaine et à l'amélioration globale de l'industrie du raffinage pétrolier.

# Référence bibliographiques

## Références Bibliographique

---

- [1] : KHALFOUN, S, Rapport de soutenance de Licence professionnelle, sur le thème « Valorisation des huiles de friture usagées en biodiesel par transestérification », université akli mohand oulhadj-bouira.
- [2] : FETTAL, Ch et BOUZIRA, M mémoire de fin de cycle master sous le thème « importance de l'unité de craquage catalytique des coupes pétrolières lourdes issues de la distillation atmosphérique de la raffinerie d'Alger », université de Blida, 2019/2020.
- [3] : Manuel opératoire, de la raffinerie d'Alger.
- [4] : Documentation de la raffinerie d'Alger, « Foster Wheeler ».
- [5] : Manuel opératoire « Atmospheric distillation unit & gas plant unit ».
- [6] : mémoire de fin de cycle master sous le thème « étude analytique des turbocompresseurs de la raffinerie d'Alger ».
- [7] : mémoire de master sous le thème « vérification des paramètres de fonctionnement du réacteur, du régénérateur et de la colonne de fractionnement de l'unité RFCC-raffinerie d'Alger » université houari Boumediene 2022.
- [8] : ABDELLAH, T et NASRALLAH M mémoire de master sous le thème « étude du procédé de craquage catalytique sur la formulation des carburants de la raffinerie d'Alger »,2020/2021.
- [9] : G. Lefebvre, chimie des hydrocarbures, Edition Technip, Paris 1978, p.131.
- [10] : document consulte de SONATRACH
- [11] : mémoire de fin de cycle sous le thème « estimation des paramètres d'un craqueur catalytique à lit fluidisé de la raffinerie d'Alger» par HAZOURLI Yasmine BENSLIMANE Fatma Zohra, université de Blida 1.
- [12] : mémoire de fin de cycle sous le thème « Vérification des paramètres de fonctionnement du réacteur, du régénérateur et de la colonne de fractionnement de l'unité RFCC – Raffinerie d'ADRAR » par MOULAY OMAR Najete et AZARRIH Soumia, université d'Adrar
- [13] : Algiers refinery rehabilitation and adaptation project - manuel operatoire U530 – resid fluid catalytic cracking.
- [14] : Fluid\_Catalytic\_Cracking\_Handbook\_[251-384] éditeur Reza Sadeghbeigi Un guide d'expert sur le fonctionnement pratique, la conception et l'optimisation des unités FCC Livre Quatrième édition • 2020
- [15] : Fluid\_Catalytic\_Cracking\_Handbook\_[251-384] éditeur Reza Sadeghbeigi Un guide d'expert sur le fonctionnement pratique, la conception et l'optimisation des unités FCC Livre seconde édition • 02/08/2013

## Références Bibliographique

---

- [16] : P .WUITHIER Raffinage et génie chimique. Paris. Publication de l'institut français, Tome I, Edition Technip (1972). P.728
- [17] :<https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/article/catalyseurs-plus-performants-des-chercheurs-difpen-elucident-mecanisme-formation-defauts-les-zeolithes>.
- [18] : C. Baerlocher, L.B. McCusker, D.H. Olson, —Atlas of Zeolite Framework Types, 6th Edition, Elsevier, Amsterdam (2007).
- [19] : Coke Formation in Catalytic Cracking W. G. Appleby J. W. Gibson and G. M. Good
- [20] : site web « [www.SCRIBD.com](http://www.SCRIBD.com) » Catalyseur RFCC Ziolite
- [21] : mémoire de fin de cycle sous le thème « simulation de performance du craqueur catalytique fluidisé dans une raffinerie de brut » par hadj othmane mourad et charmat abdelkarim, Université El-wancharissi de Tissemsilt.
- [22] : mémoire de fin de cycle sous le thème « étude de performance d'une unité de craquage catalytique par Aspen Tech hysys » par mehenni imen et kabbeche aya, université de tissemsilt.
- [23] : R.C.Hansford : «Physical chimistry of hydro carbons» vol II, PP230-231 Acadimic press I.N.C.N.Y, 1953
- [24] : d. decroocq, le craquage catalytique des coupes lourdes. editions technique, 1978
- [25] : demande de brevet europeen-ep0325502a1 - procédé de craquage catalytique.
- [26] : R.C.Hansford : «Physical chimistry of hydro carbons» vol II, PP230-231 Acadimic press I.N.C.N.Y, 1953.
- [27] : mémoire de fin de cycle sous le thème « valorisation des charges lourdes compoundées par le craquage catalytique ».par otmani salima, université m'hamed bougara boumerdes.
- [28] : mémoire de fin de cycle sous le thème « craquage catalytique des coupes lourdes » par belkhodja, école nationale polyclinique.
- [29] : mémoire de fin de cycle sous le thème « craquage catalytique » par benamer fedoua, université m'Hamed bougera boumerdes, 2020/2021.
- [30] : <http://www.ilocis.org/fr/default.html>, Encyclopédie de sécurité et de santé au travail - 3e édition française, Partie XII. Industries chimiques et parachimiques.
- [31] : SHANKLAN(R.V).advances in catalysis, 1954, VI, p.271.
- [32] : R.HUGHES: « Deactivation of catalysis ». Academic press. London 1984
- [33] : demande international publiée en vertu du traité de coopération en matière de brevets (pct) titre, procédé du craquage catalytique pour le traitement d'une coupe a faible carbone conradson.

## Références Bibliographique

---

[34] : livre « craquage catalytique des coupes lourdes » 1978 edition technip.paris et institut francais du pétrole, rueil-malmaison.

[35] : Mémoire, Thèse, français et 1999 « Contribution à l'étude de l'encrassement des catalyseurs de craquage catalytique pendant leur fonctionnement : rôle des conditions de réaction et de la composition » Auteurs: Cyril Delattre, Michel Forissier et Université Claude Bernard (Lyon). (Établissement délivrant le diplôme).

[36] : [https://inside.mines.edu/~jjechura/Refining/07\\_Catalytic\\_Cracking.pdf](https://inside.mines.edu/~jjechura/Refining/07_Catalytic_Cracking.pdf).

[37] : fascicule de brevet europeen, Date de publication du fascicule du brevet: 14.06.89, Numéro de dépôt: 86401464.2, Inventor Jean-Louis MauleonFrancois VilleJean-Bernard Sigaud.

## **Résumé**

Le craquage catalytique est un procédé important dans les raffineries modernes et toute amélioration des opérations et de la conception de l'unité pour augmenter le rendement est toujours en demande. En se concentrant sur cette technique clé, le document explore en détail les aspects opérationnels de la raffinerie, mettant en lumière les équipements spécifiques, les conditions opératoires, les types de catalyseurs utilisés, et d'autres paramètres essentiels liés au procédé RFCC. L'objectif principal est de fournir une compréhension approfondie du fonctionnement de ce procédé au sein de la raffinerie d'Alger. En analysant les détails techniques, le document offre des perspectives sur les avantages et les défis associés au RFCC, contribuant ainsi à l'enrichissement des connaissances dans le domaine du raffinage pétrolier et à l'amélioration de cette technologie cruciale dans le contexte spécifique de la raffinerie d'Alger.

**Mots clés:** craquage, régénérateur, zéolithe, réacteur.

## **Abstract**

Catalytic cracking is an important process in modern refineries and any improving unit operations and design to increase efficiency is always in demand. Focusing on this key technique, the paper explores in detail the operational aspects of the refinery, highlighting the specific equipment, operating conditions, types of catalysts used, and other essential parameters related to the RFCC process. The main objective is to provide an in-depth understanding of how this process works within the Algiers refinery. By analyzing the technical details, the paper offers perspectives on the benefits and challenges associated with RFCC, thereby contributing to the enrichment of knowledge in the field of petroleum refining and the improvement of this crucial technology in the specific context of Algiers refinery.

**Key words:** cracking, regenerator, zeolite, reactor.