



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



Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département des Sciences et de la Technologie  
Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme  
de Master académique en

Filière : **Industries Pétrochimiques**

Spécialité : **Génie du Raffinage**

Présentée par :

**MEHENNI Imen**

**KABBECHÉ Aya**

*Thème*

---

# **Etude de performances d'une unité de craquages catalytique par Aspen Tech HYSYS**

---

Soutenu le, 12/07/2021

**Devant le Jury :**

Mourad BIDAOUI	Président	M.C.A.	Univ-Tissemsilt
Mohammed Amin CHEMRAK	Encadreur	M.C.B.	Univ-Tissemsilt
Hanane BERDAA	Examinatrice	M.A.A.	Univ-Tissemsilt
Mohamed LOUCIF	Examineur	M.A.A.	Univ-Tissemsilt

**Année universitaire : 2020-2021**

# REMERCIEMENT

*Nous remercions ALLAH Tout-Puissant d'abord et avant tout pour notre succès dans l'accomplissement de ce travail, et bien sûr tous nos remerciements à notre Encadreur Dr. CHEMRAK Mohammed Amin, qui grâce à lui nous avons pu compléter le mémoire et cela avec son soutien pour nous étape par étape,*

*Nous remercions très sincèrement, les membres de jury d'avoir bien accepté de juger ce travail sans en oubliant tous les enseignants qui ont accompagné pendant notre cursus universitaire, Nous adressons nos meilleurs et chaleureux remerciements à nos familles de leurs aides précieuses et constantes.*

*Un grand Merci à toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.*

# DÉDICACE

JE DÉDIE CE TRAVAIL

A MA MÈRE POUR SON AMOUR, SES ENCOURAGEMENTS ET  
SES SACRIFICES.

A MON PÈRE POUR SON SOUTIEN, SON AFFECTION ET LA  
CONFIANCE QU'IL M'ACCORDÉ.

A MES SŒURS ET MON FRÈRE ET LA FAMILLE D'ABDEL  
KADER. H, FAMILLE MAIAD.

MEHENNI IMEN

# DÉDICACE

*A Ma tendre Mère Samia : Tu représentes pour moi la source de tendresse et l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager.*

*A Mon très cher Père ALI : Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail et le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation le long de ces années.*

*A mes sœur Faiza & NOOR & SANAA et mes deux frères MOHAMMED & SOHAIBE A qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite*

*A mon binôme Mehenni Imen*

*A tous mes enseignants depuis mes premières années d'études. A tous ceux qui me sont chers et que j'ai omis de citer.*

*Aya*

## ملخص

الهدف من عملنا هو معرفة ومتابعة مراحل انتاج البنزين وكيفية تحسين جودته ومتابعة المحاكاة لفحص اداء وحدة التكسير التحفيزي وسنقوم بمحاكاة وحدة المعالجة بدءا بالتقطير الذي يعطينا الشحنة المراد سحبها إلى وحدة التكسير التحفيزي لتنفيذ نموذجة العملية التي تعطينا النتائج ومعدلات تدفق المنتجات ورقم الأوكتان الذي تم الحصول عليه بعد التكسير التحفيزي ومن ناحية أخرى منهجية إدخال بيانات العمل في برنامج المحاكاة.

**الكلمات المفتاحية :** المحاكاة ، التكسير التحفيزي ، رقم الأوكتان ، أسبان هايسيس

## Résumé

Le but de notre travail est de connaitre et suivre les étapes de la production d'essence et comment améliorer sa qualité et pour suivre par une simulation afin d'examiner les performances de l'unité de craquage catalytique, nous avons simulés l'unité de traitement en commençant par la distillation, ce qui donne nous la charge à soutirer à l'unité de craquage catalytique pour mettre en œuvre une modélisation du procédé qui nous donne les résultats, les débits des produits et l'indice d'octane obtenus après le craquage catalytique, et d'autre part la méthode de saisie les données de travail dans le programme de simulation ASPAN HYSYS.

**Mots clés :** Simulation, craquage catalytique, l'indice d'octane, ASPAN HYSYS.

## Abstract

The goal of our works to know and follow the stages of gasoline production and how to improve its quality and to follow the simulation to examine the performance of the catalytic cracking unit, and we will simulate the processing unit. Starting with the distillation, which gives us the feed to be withdrawn from the catalytic cracking unit to implement a model of the process which gives us the results, the flow rates of the products and the octane number obtained after the cracking catalytic, and on the other hand the method of entering the work data in the simulation program.

**Keywords:** Simulation, catalytic cracking, octane number, ASPAN HYSYS

# *Table des matières*

## *Table des matières*

Résumé

Table des matières .....	I
Liste des figures .....	VII
Liste des tableaux .....	XI
Liste des abréviations .....	XIII
Introduction générale.....	2

### *Chapitre I : Généralité sur les procédés de raffinage*

I.1 Introduction .....	5
I.2 Les opérations et les procédés de raffinage de base .....	5
I.3 Mission et objectifs de la raffinerie .....	5
I.3.1 Sur le plan national .....	5
I.3.2 Sur le plan international .....	6
I.4. Les procédés de séparation .....	10
I.5 Les procédés de conversion .....	13
I.6 Les procédés d'épuration .....	16
I.7 Traitement des essences par procédé de craquage catalytique .....	16
I.7.1 Théorie de craquage catalytique .....	17
I.7.2 Unité du procédé de craquage catalytique .....	18
I.8 Généralités sur les essences .....	18

I.8.1 Définition d'une essence .....	18
I.8.2 Compositions et caractéristiques des essences .....	18
I.8.3 Propriétés physique et chimiques d'essence .....	19
I.9 L'indice d'octane .....	20

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

II.1 Introduction .....	22
II .2 Définition.....	22
II.2.1 Le Craquage Thermique .....	22
II.2.2 Le craquage catalytique .....	22
II.3 Historique .....	22
II.4 Craquage des principales familles d'hydrocarbures .....	23
II.4.1 Craquage des paraffines .....	23
II .4.2 Craquage des naphtène .....	23
II .4.3 Craquage des oléfines .....	23
II.4.4 Craquage des aromatiques .....	24
II.5 Technique de craquage catalytique.....	24
II.5.1 Principes directeurs.....	24
II.5.2 Unité de craquage catalytique.....	24
II.6 Charges et produits .....	28
II.7 Produits .....	28



II .8 Description du procédé de craquage catalytique .....	28
II.9 Les catalyseurs du craquage catalytique .....	30
II.9.1 Définition d'un catalyseur .....	30
II .9.2 La stabilité du catalyseur .....	31
II .9.3 Morphologie .....	31
II .9.4 Résistance mécanique.....	31
II .9.5 Résistance thermique.....	31
II .9.6 Régénérable .....	31
II .9.7 Reproductibilité .....	32
II .10 Mode de préparation des catalyseurs de craquage.....	32
II.10.1 Mode de préparation des catalyseurs conventionnels.....	32
II.10.2 Préparation des catalyseurs zéolithiques du craquage .....	34
II.10.3 Catalyseurs zéolithiques .....	35
II.10.4 Produits et rendements.....	36
II.10.5 Les conditions Opératoires .....	36
II.11 Conclusion .....	37

### *Chapitre III : Généralité sur la Simulation par Hysys*

III.1 Introduction .....	39
III.2 Modèle et simulation.....	39
III.2 Méthode de sumélateur .....	40

III .4 Le logiciel HYSYS.....	42
III .4.1 Présentation de HYSYS .....	42
III.4.2 Simulation basis manager .....	43
III .4.2 Les étapes d'utilisation du logiciel HYSYS .....	44
III .4.3 Les modèles thermodynamique de HYSYS.....	45
III .4.5 Concepts et caractéristiques du simulateur aspen HYSYS .....	45
III .4.6. Caractéristiques principales de HYSYS.....	47
III .4.7. Les étapes d'utilisation du logiciel HYSYS.....	48
III.5 Création de la liste des constituants .....	48
III .6 Les équipements utilisés .....	49
III .6.1. Mixeur .....	49
III .6.1.1. Installation d'un mixeur .....	49
III .6.2. Le compresseur .....	50
III .6.2.1. Installation d'un compresseur .....	50
III .6.3. La colonne de distillation .....	50
III .6.4. Installation de la colonne de distillation.....	51
III .6.5. Séparateur.....	51
III .6.6. Installation du séparateur .....	51
III .6.7. Les réacteurs.....	52
III .6.8. Installation de réacteur (CSTR).....	52

III .6.9. Installation du général réacteur .....	52
III .6.10. Installation d'un réacteur (ERV-100).....	53
III .7. Conclusion.....	54

### *Chapitre IV : Simulation et résultat*

IV.1 Introduction.....	56
IV. 2 La chaine du traitement de pétrole brut.....	56
IV. 3 Modélisation de l'unité de distillation primaire .....	56
IV. 4 Modélisation de la distillation secondaire (DSV).....	59
IV.5 Modélisation de l'unité de craquage catalytique (FCC) .....	60
IV.6 Simulation de la section FCC.....	60
IV.6. 1 La charge HVGO .....	60
IV.6. 2 La charge Feed 1 .....	61
IV.6. 3 Pour le catalyseur .....	61
IV.7 Configuration des opérations de la charge .....	61
IV.8 Spécification .....	62
IV.9 Spécifications de la convergence finale de l'unité.....	63
IV.10 Résultats de la simulation .....	63
Conclusion général.....	66
Bibliographie.....	68

# *Liste des figures*

## *Liste des figures*

Figure I.1. principe d'une raffinerie simple .....	7
Figure I.2. Schéma des procédés de raffinage.....	8
Figure I.3. Schéma du procédé de distillation atmosphérique .....	11
Figure I.4. Schéma du procédé de distillation sous vide .....	12
Figure I.5. Isomérisation du C4.....	15
Figure I.6. Craquage catalytique FCC. ....	17
Figure II.1. Schéma générale d'une unité de craquage catalytique.....	26
Figure II.2. Principe du craquage .....	28
Figure. II.3. Schéma-bloc du FCC .....	30
Figure. II.4. Schéma de principe des procédés de craquage catalytique .....	30
Figure II.6. Principales étapes de fabrication des aluminosilicates sous formes de granules cylindriques. ....	33
Figure II.7. Structures chimiques des zéolithes.....	36
Figure III.1. Logigramme pour la modalisation et simulation d'un processus. ....	40
Figure III.2. entrer la liste de composition. ....	48
Figure III.3. choisir le fluide package. ....	48
Figure III.4.a. Représentation d'un mixeur .....	49
Figure III.4.b. Installation d'un Mixer .....	49
Figure III.5.a. Présentation du procédé sous le logiciel .....	50
Figure III.5.b. Installation de compresseur.....	50

Figure III.6.a. Représentation d'une colonne de distillation.....	50
Figure III.6.b. Installation de colonne de distillation.....	51
Figure III.7.a. Représentation d'un séparateur.....	51
Figure III .7.b. Installation du séparateur.....	51
Figure III.8.a. The continuous stirred-tank reactor (CSTR-100).....	52
Figure III .8.b. Installation du réacteur (CSTR).....	52
Figure III.9. Représentation d'un Général réacteur.....	52
Figure III.10.a. Installation du (ERV-100).....	53
Figure III.10.b. Installation (GBR-100) réacteur.....	53
Figure IV. 1. entrer la liste de composition.....	56
Figure IV. 2. Introduire le fluide package de système.....	57
Figure IV. 3. Les données liées à la distillation « TBP assay ».....	57
Figure IV.4. Les données liées à la distillation « OilBlend ».....	57
Figure IV. 5. Installer le « CrudeOil ».....	58
Figure IV.6. Over flash.....	58
Figure IV.7. Résultat finale de la modélisation de l'unité de distillation atmosphérique.....	59
Figure IV.8. Unité de distillation sous vide.....	59
Figure IV.9. Paramètre de design FCC.....	60
Figure IV.10. Résultat de feedblend.....	62
FigureIV.11. Fenêtre de la convergence de la section « Craquer » primaire.....	62

Figure IV.12. Spécifications de la charge entrée dans l'unité FCC. ....	63
Figure IV.13. Schéma de l'unité de craquage catalytique par ASPEN HYSYS. ....	63
Figure IV.14. représente les pressions de réacteurs et régénérateur .....	63
FigureIV.15. Fenêtre des informations liées aux spécifications de convergence. ....	64

# *Liste des Tableaux*



## *Liste des Tableaux*

<b>Tableau I.1.</b> Principaux produits du raffinage du pétrole brut.....	8
<b>Tableau I.2.</b> Les principaux procédés de transformation et leurs rôles.....	13
<b>Tableau I.3.</b> Propriétés physiques et chimique d'essence.....	19
<b>Tableau II.1.</b> Principales réactions des différentes familles d'hydrocarbures en craquage catalytique. ....	25
<b>Tableau III.1.</b> Simulation basis manager.....	43
<b>Tableau IV.1.</b> Propriété de la charge HVGO.....	60
<b>Tableau IV.2.</b> Propriété de la charge feed .....	61
<b>Tableau IV.3.</b> Donner de catalyseur.....	61
<b>Tableau IV.4.</b> Configuration des opérations de la charge.....	61

# *Liste des abréviations*

### *Liste des abréviations*

<b>ATM</b>	Atmosphérique .
<b>BRA</b>	Brut Réduit Atmosphérique.
<b>BTX</b>	Benzène, Toluène, Xylène.
<b>CAO</b>	Conception Assisté Par Ordinateur.
<b>CSTR- 100</b>	Réacteur À Réservoir À Agitation Continue .
<b>DSV</b>	Distillation Sous Vide.
<b>FCC</b>	Craquage Catalytique à lit Fluidisé (Fluidized catalytic cracking).
<b>HGO</b>	Gazole Lourd (HightGas Oil).
<b>HVGO</b>	Gazole lourd sous vide (HightVuccumGas Oil).
<b>LGO</b>	Gazole Léger (Light Gas Oil).
<b>LVGO</b>	Gazole légèr sous vide (Light VuccumGas Oil).
<b>mmHg</b>	millimètres de mercure .
<b>PK</b>	Redlich -k Wong.
<b>PR</b>	Peng- Robinson .
<b>SRK</b>	Soave –Redlich-kwong
<b>TBP</b>	Vrai Point d’Ebullition. (True Boiling point).
<b>TCC</b>	craquage catalytique thermofor (thermafor catalitic craking ).
<b>VGO</b>	gazole sous vide (vacum gaz oil ).

# *Introduction générale*

### **Introduction générale**

Le pétrole est d'une grande importance sur le marché mondial, car c'est le pilier de l'économie, et bien sûr, il a traversé plusieurs processus de transformation avant de devenir un groupe de produits susceptibles d'être fabriqués, parmi ces procédés, citons le craquage catalytique, l'un des procédés de conversion les plus importants utilisés dans les raffineries de pétrole, dont le plus connu est le craquage catalytique fluide (FCC), qui est couramment utilisé pour convertir le pétrole à haute température et il contient de grandes quantités d'hydrocarbures dans les carburants automobiles, les gaz alcènes et autres produits de plus grande valeur. En fait, ce processus peut être traduit grâce à l'utilisation du programme Hysys, un programme utile pour simuler des processus industriels de toutes sortes, qu'ils soient traitement du gaz, raffinage du pétrole, craquage catalytique et autres industries pétrochimiques. Il est également utilisé dans la conception d'unités industrielles de réacteurs et d'autres unités industrielles, et l'un de ses avantages est qu'il est fort pour produire des résultats très proches de la réalité.[1]

La simulation des procédés industriels ainsi du pétrole et du gaz peut se réaliser par plusieurs simulateurs tels que : Aspen Plus, ChemCAD, HYSIM, HYSYS, Le simulateur HYSYS est l'un des plus performants logiciels de simulation peut être utilisé lors de la conception d'un procédé industriel afin d'établir des bilans de matière et d'énergie d'un procédé industriel et de dimensionner les équipements de ce procédé ou bien dans le suivi des procédés qui sont déjà installés afin de réajuster les paramètres de fonctionnement dans le cas de changement de compositions de l'alimentation ou des conditions de fonctionnement de certains équipements et de déterminer les performances des équipements.[2]

Dans ce travail qu'on a réalisé, le but principal est de suivre les étapes de marche d'une unité de craquage catalytique à l'échelle industrielle, et aussi de vérifier les performances des équipements de cette unité du traitement par modélisation par ASPEN HYSYS.

Cette étude est composée de deux parties, elles-mêmes divisées en plusieurs chapitres.

Dans le premier chapitre, nous nous décrivons généralité sur les procédés de raffinage.

Dans le second chapitre, nous présenterons succinctement une base théorique comprise sur le craquage catalytique.

Le troisième chapitre concerne la présente du logiciel utilisé dans la simulation des procédés ASPEN HYSYS.

## *Introduction générale*

---

Le quatrième chapitre et le dernier chapitre est consacré à la simulation du procédé craquage catalytique par ASPEN HYSYS , et l'interprétation des différents résultats obtenus.

# *Chapitre I*

## *Généralité sur les procédés de raffinage*

**I.1 Introduction**

Le pétrole est un mélange complexe d'hydrocarbures, principalement utilisé comme source d'énergie ; il contient des hydrocarbures saturés, à chaînes linéaires, ramifiés ou cycliques, ainsi que des traces de soufre, d'azote, d'oxygène, d'eau salée et de métaux (Fer, nickel). On le trouve en grandes quantités dans des gisements enfouis sous la surface des continents ou au fond des mers, sa densité variant selon la qualité de 0,8 à 0,9.[3]

Pour l'utilisation du pétrole dans différentes industries, il doit être soumis à un traitement, et cela s'appelle le raffinage. [4]

Le raffinage du pétrole désigne l'ensemble des traitements et transformations visant à tirer des pétroles le maximum de produits à haute valeur commerciale. [4]

**I.2 Les opérations et les procédés de raffinage de base**

Les opérations et les procédés de raffinage du pétrole peuvent être classés en quelques grandes catégories: séparation, conversion, traitement, formulation, mélange, opérations de raffinage auxiliaires et opérations de raffinage sans traitement. [4]

**I.3 Mission et objectifs de la raffinerie**

La principale mission de la raffinerie d'Arzew est d'assurer une production ajustée qui va servir les besoins nationaux d'énergie et ses dérivés, donc elle a été créée pour effectuer les missions suivantes :

- Traiter le pétrole brut de Hassi Messaoud et le BRI (brut réduit importé).
- Satisfaire la consommation en carburant.
- Exporter les produits excédentaires (naphta, kérosène, gasoil).
- Fabriquer les produits stratégiques tels que les lubrifiants et les bitumes

Les objectifs de la raffinerie d'Arzew sont cités comme il convient :

**I.3.1 Sur le plan national** d'un côté quantitatif, la raffinerie travaille à assurer les besoins en produit de premier nécessité « essence, gas-oil, GPL, ...etc. ».Ainsi que les produits de base qui sont ajustés pour des autres industries (la pétrochimie).



**I.3.2 Sur le plan international** son but est d'offrir des produits raffinés destinés à l'exportation répondant aux normes, pour cela des modifications ont été réalisés :

- Réalisation d'une nouvelle unité d'isomérisation pour la fabrication de l'essence (eurosuper95).
- Réalisation d'une unité d'hydrodésulfuration (DHDS) des gas-oils avec les nouvelles spécifications européennes. [4]

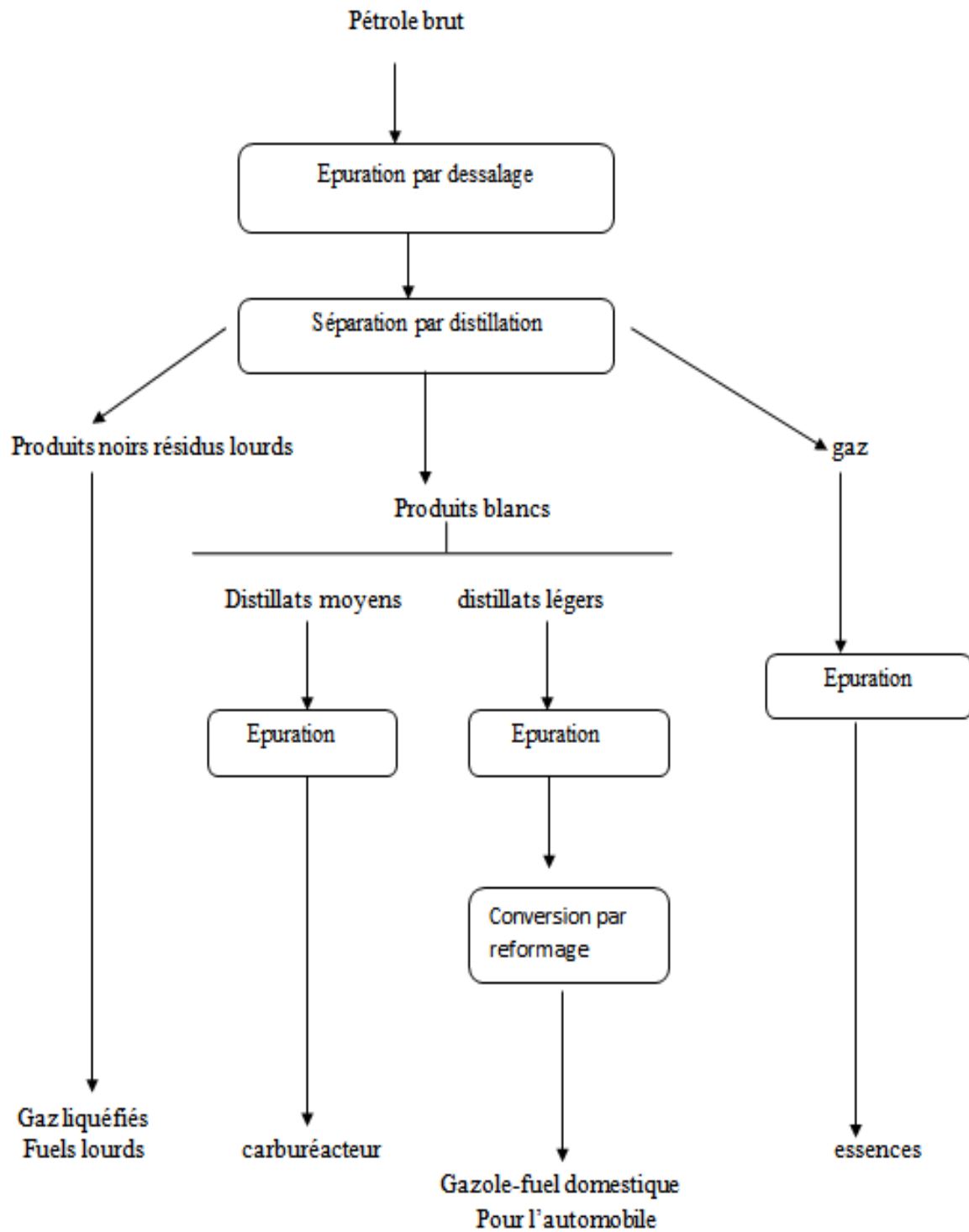


Figure I.1. Principe d'une raffinerie simple [4]

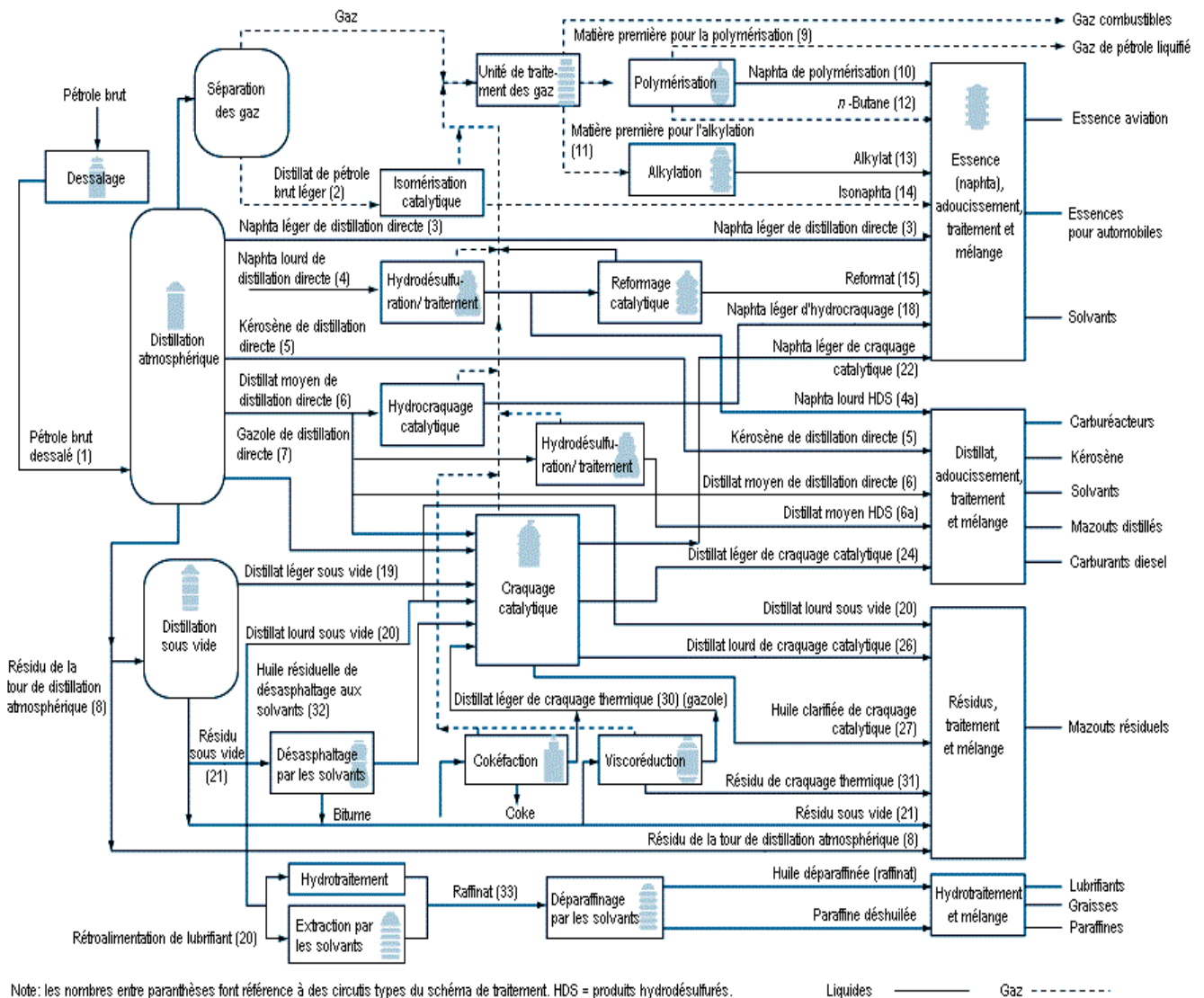


Figure I.2. Schéma des procédés de raffinage [5]

Tableau I.1. Principaux produits de raffinage du pétrole brut [5]

Gaz d'hydrocarbures	Utilisations
Gaz liquéfiés	Gaz domestique et gaz industriel Gaz carburant pour moteurs Gaz d'éclairage Ammoniac Engrais synthétiques Alcools Solvants et acétone

	<p>Plastifiants</p> <p>Résines et fibres pour plastiques et textiles</p> <p>Peintures et vernis</p>
Matières premières pour l'industrie chimique	Produits du caoutchouc
Noir de carbone	<p>Encres d'imprimerie</p> <p>Industrie du caoutchouc</p>
<b>Distillats légers</b>	
Naphtas légers	<p>Oléfines</p> <p>Solvants et diluants</p> <p>Solvants d'extraction</p> <p>Matières premières pour l'industrie chimique</p>
Naphtas intermédiaires	<p>Essence aviation et essence pour automobiles</p> <p>Solvants de nettoyage à sec</p>
Naphtas lourds	<p>Carburéacteurs militaires</p> <p>Carburéacteurs et kérosène</p> <p>Carburants pour tracteurs</p>
Gazole	<p>Charge de craquage</p> <p>Huile de chauffage et carburant diesel</p> <p>Combustible pour la métallurgie</p> <p>Huile d'absorption pour l'extraction du benzène et de l'essence</p>
<b>Distillats lourds</b>	
Huiles techniques	<p>Huiles pour textiles</p> <p>Huiles médicinales et cosmétiques</p> <p>Huile blanche pour l'industrie de l'alimentation</p>
Huiles de lubrification	<p>Huile pour transformateur et huile à broche</p> <p>Huiles pour moteurs</p> <p>Huiles pour machines et compresseurs</p> <p>Huiles pour turbines et huiles hydrauliques</p> <p>Huiles pour transmission</p> <p>Huiles d'isolation pour machines et câbles</p> <p>Huiles pour essieux, engrenages et moteurs à vapeur</p>

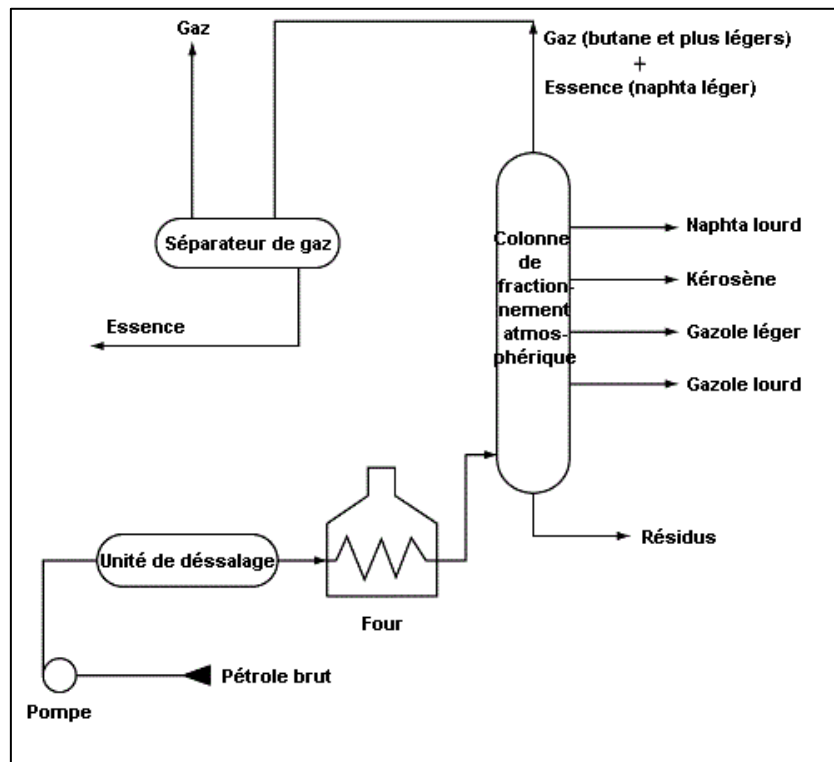
	<p>Huiles pour traitement des métaux, huiles de coupe et de meulage</p> <p>Huiles de refroidissement et huiles antirouilles</p> <p>Huiles pour échangeurs de chaleur</p> <p>Graisses et produits lubrifiants</p> <p>Huiles pour encres d'imprimerie</p>
Paraffines	<p>Industrie du caoutchouc</p> <p>Produits pharmaceutiques et cosmétiques</p> <p>Industries de l'alimentation et du papier</p> <p>Bougies et allumettes</p>
<b>Résidus</b>	
Pétrolatum	<p>Vaseline</p> <p>Produits cosmétiques</p> <p>Antirouilles et lubrifiants</p> <p>Produits d'enrobage de câbles</p>
Fioul résiduel	Huile pour chaudière et fioul pour procédé
Bitumes	<p>Bitumes routiers</p> <p>Matériaux pour toitures</p> <p>Lubrifiants asphaltiques</p> <p>Isolation et protection de fondations</p> <p>Produits en papier imperméable à l'eau</p>
<b>Sous-produits du raffinage</b>	
Coke	Electrodes et combustible
Sulfonâtes	Emulsifiants
Acide sulfurique	Engrais synthétiques
Soufre	Produits chimiques
Hydrogène	Reformage des hydrocarbures

#### I.4. Les procédés de séparation

##### a) Distillation atmosphérique

C'est un processus plus classique, consiste à séparer les unes des autres les fractions d'hydrocarbures contenues dans le **pétrole brut**. C'est la première étape du **raffinage du**

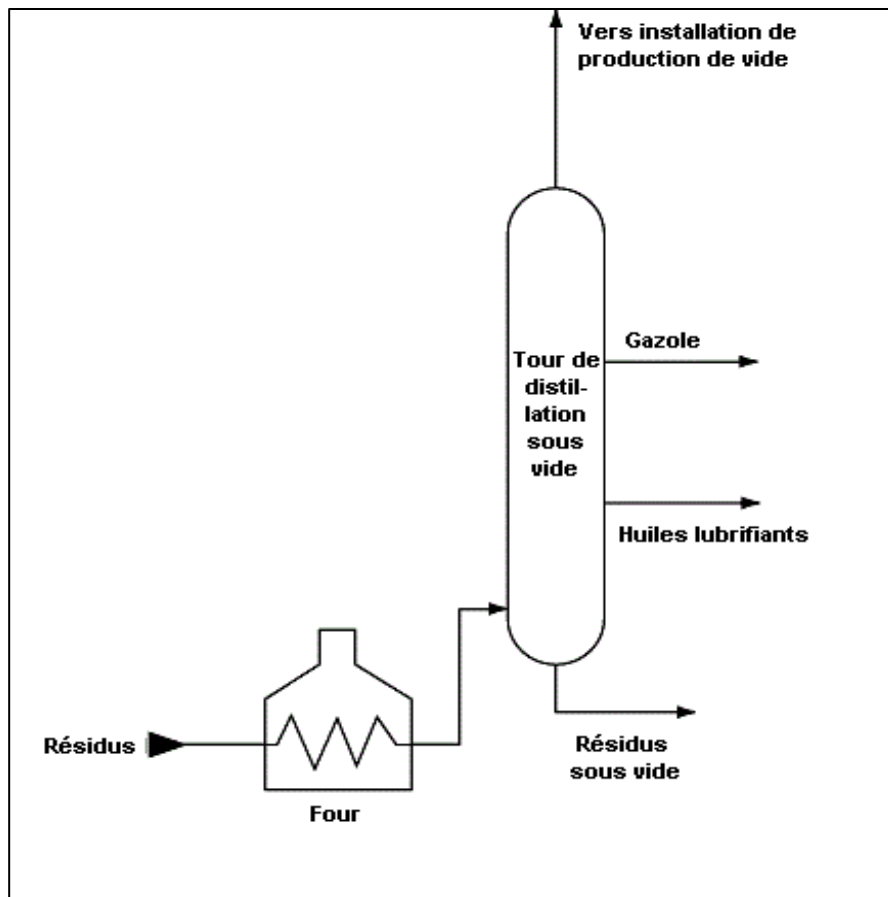
**pétrole**, et les toutes premières raffineries de pétrole se résument à peu près à une colonne de distillation. [5]



**Figure I.3.** Schéma du procédé de distillation atmosphérique [5]

### b) Distillation sous vide

La distillation sous vide (également appelée « distillation à basse température ») implique de mettre la colonne de distillation sous vide ou à une pression atmosphérique nettement inférieure à 760 millimètres de mercure (mm Hg). À basse pression, le point d'ébullition des résidus de l'unité de distillation atmosphérique (ADU) est suffisamment bas pour permettre aux produits plus légers d'être vaporisés, sans craquage ou dégradation du pétrole. La distillation sous vide produit plusieurs types de gazoles. Au cours de l'étape de raffinage suivante, ces gazoles sont plus amplement raffinés pour obtenir des produits tels que de l'huile légère de recyclage (LCO) (un type de distillat), de l'essence et du naphta.[5]



**Figure I.4.** Schéma du procédé de distillation sous vide [5]

### c) Le désalphaltage

L'objectif du processus est l'enlèvement d'asphalte et de séparer les asphaltènes et les résines dans la charge de sa fraction huileuse. [6]

### d) L'extraction

Ce processus est utilisé pour extraire sélectivement un ou plusieurs composés d'un mélange primaire en fonction des propriétés chimiques et physiques. [6]

L'unité d'extraction d'aromatiques est utilisée pour séparer un mélange de substances aromatiques en benzène pur, toluène et xylènes mélangés, qui peuvent ensuite être traités ou vendus à des usines chimiques. [6]

### e) La cristallisation

Le but du processus est la fabrication des lubrifiants consiste à provoquer, par refroidissement. [6]

**I.5. Les procédés de conversion**

Les proportions des produits obtenus grâce aux procédés de séparation ne répondent pas aux spécifications des besoins du marché, ni en quantité ni en qualité, il faut réaliser des transformations moléculaires qui atteignent cette efficacité grâce à des procédés de conversion utilisant principalement des réactions chimiques qui peuvent être classés en trois catégories, selon que les liaisons carbone et carbone des molécules sont :

⇒ Regroupées (synthèse)

⇒ Conservées (réarrangement)

Généralement ces transformations sont soit :

- Purement thermique
- Aidées par un catalyseur
- Réalisées en présence d'hydrogène [7]

**Tableau I.2.** Les principaux procédés de transformation et leurs rôles [7]

Procédé de raffinage :	Rôle du procédé :	Sous-produits :
<b>Les procédés d'amélioration des propriétés : avec réarrangement moléculaire</b>		
Reformage catalytique	Conversion du naphta de moindre qualité.	Naphta
Isomérisation	Production de charge d'alkylation.	Produits aromatiques
<b>Les procédés d'amélioration des propriétés : avec intervention corrélatif</b>		
alkylation.	Amélioration du rendement en essence et de l'indice d'octane.	Charge pétrochimique.
Synthèse d'éthers.	Augmenter l'indice d'octane en réduire la concentration en oléfine et d'augmenter la production d'essence	Production des oléfines (charge pétrochimique)
Oligomérisation.	Production de l'essence à partir des fractions C <sub>3</sub> contenant 75% de propylène ou de fuel gas.	Charge pétrochimique  En produisant des polymères.



<b>Les procédés de conversion : par voie thermique</b>		
Cokéfaction	Production de base essences	Coke
Viscoréduction	Réduction de la viscosité	Quantité accrue de distillat, goudron.
<b>Les procédés de conversion : par voie catalytique</b>		
Craquage catalytique	"casser" en petites molécules les produits lourds afin d'obtenir des produits légers tel que l'essence et améliorer sa qualité(IO)	Essence, charges  Pétrochimiques  Essence, charges pétrochimiques  Matières premières  Pétrochimiques
Vaporéformage	Production de l'hydrogène complémentaire nécessaire à l'amélioration de la conversion des fractions lourdes du pétrole brut.	Production des gaz de synthèses.
Hydroconversions	Transformation totalement ou partiellement de distillats sous vide en produits plus légères.	Gazole, bases lubrifiants, résidus  Gazole, bases lubrifiants, résidus
<b>Procédés de finitions :</b>		
Hydrotraitement/Hydrogénation	Elimination de soufre.	Soufre
Adoucissement	Réduction de la teneur de soufre et de l'odeur.	Les rejets de soude usée.  Les disulfures.

**a) Reformage**

Les procédés de reformage catalytique permettent de convertir les naphthas lourds à faible indice d'octane en hydrocarbures aromatiques pouvant servir de matières premières pour l'industrie pétrochimique et en constituants pour l'essence à indice d'octane élevé,

appelés reformats, par réarrangement moléculaire ou déshydrogénation. Selon la charge et les catalyseurs, les reformats peuvent avoir des concentrations très élevées de toluène, de benzène, de xylène et d'autres constituants aromatiques utiles dans la préparation de l'essence et dans les procédés pétrochimiques. L'hydrogène, important sous-produit, est séparé du reformat en vue d'être recyclé et utilisé dans d'autres procédés. Le produit obtenu dépend de la température et de la pression dans le réacteur, du catalyseur utilisé et du taux de recyclage de l'hydrogène. Certaines unités de reformage catalytique fonctionnent à basse pression, tandis que d'autres fonctionnent à haute pression. Dans certaines unités, le catalyseur est régénéré en continu, dans d'autres, les catalyseurs de tous les réacteurs sont régénérés durant les opérations de révision totale, alors que dans d'autres encore, on met l'un après l'autre les réacteurs hors service pour régénérer le catalyseur. [7]

#### **b) L'isomérisation**

L'isomérisation permet de convertir le n-butane, le n-pentane et le n-hexane en leurs iso paraffines respectives. Certains des constituants des paraffines linéaires du naphta léger obtenu par distillation directe ont un indice d'octane peu élevé. On peut convertir ces constituants en isomères ramifiés à indice d'octane élevé en réarrangeant les liaisons interatomiques sans changer le nombre ni le type des atomes. L'isomérisation ressemble au reformage catalytique, car elle comporte, elle aussi, un réarrangement des molécules d'hydrocarbures, cependant, contrairement au reformage catalytique, l'isomérisation ne fait que convertir les paraffines linéaires en iso paraffines. Le catalyseur utilisé pour l'isomérisation est différent de celui employé pour le reformage catalytique. [7]

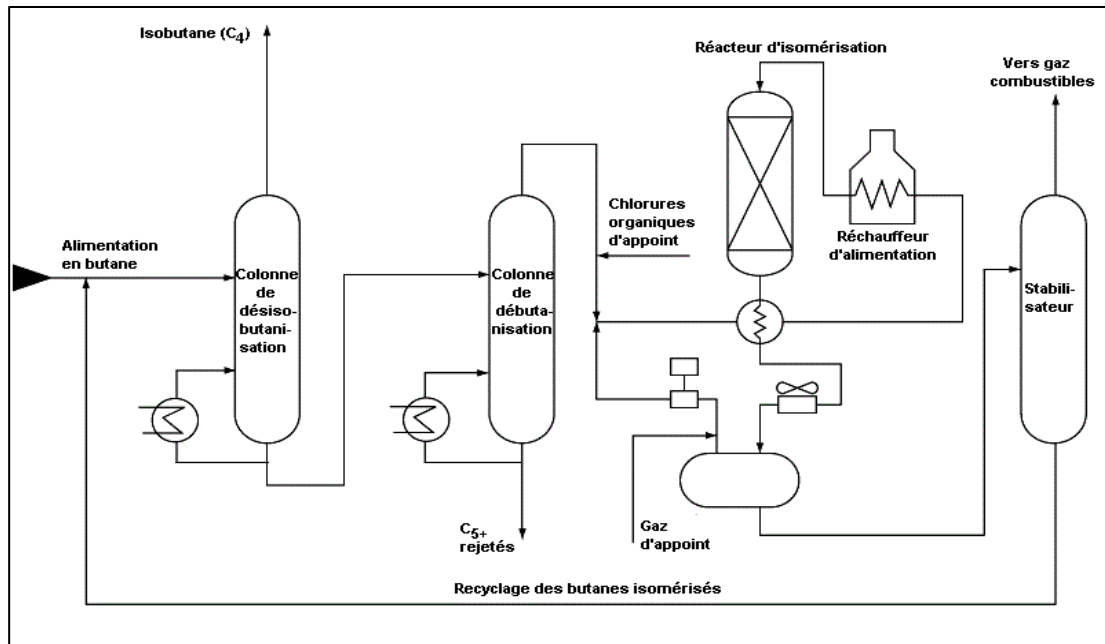


Figure I.5. Isomérisation du C<sub>4</sub> [4]

## I.6. Les procédés d'épuration

Le but des opérations de purification est d'éliminer les composés indésirables présents dans les produits traités, ainsi que les déchets liquides et gazeux. Ces procédés séparent ou transforment les composés susceptibles de nuire aux utilisateurs des produits fabriqués ou à l'environnement. [8]

### a) Le dessalage

Le but du processus de dessalement du pétrole brut avant la distillation est d'empêcher la précipitation de sel dans les tubes du four et la corrosion acide au sommet des colonnes de fractionnement.

Même s'il a été préalablement dessalé sur le champ de production, le pétrole brut a recueilli au cours de son transport maritime des chlorures de sodium, de magnésium et de calcium – d'une dizaine de grammes à plusieurs kilogrammes par tonne, suivant son origine – qu'on dissout en y injectant de 7 à 8 p. 100 d'eau douce et en formant une émulsion chaude. Cette émulsion s'écoule dans un récipient cylindrique horizontal où elle est soumise à l'action d'un champ électrostatique de 20 000 à 35 000 volts, qui favorise l'agglomération des gouttes d'eau chargées de sels et leur séparation par décantation. [8]

**b) La désulfuration**

Ce traitement utilise une variété de procédés par lesquels les gaz non condensés ou liquéfiés sont purifiés du sulfure d'hydrogène, par l'éthanol amines ou propyl amines qui le dissolvent à froid, le rejettent à chaud et sont recyclés un grand nombre de fois. Les gaz liquéfiés sont ensuite séchés par passage sur les tamis moléculaires. Les distillats légers sont, le plus souvent, totalement désulfurés avant même d'être séparés, par une hydrogénation à 350 0C sous 30 atmosphères en présence d'un alliage de cobalt et de molybdène. Les carburateurs et les gazoles sont hydrogénés séparément à 400 0C et sous une pression de 30 à 70 atmosphères. Les huiles déparaffinées et les paraffines. [8]

**I.7. Traitement des essences par procédé de craquage catalytique**

Nous pouvons briser les molécules d'essence à point d'ébullition élevée en molécules plus petites qui bouillent dans des domaines de températures plus faibles, convenant à l'usage recherché. [8]

Les charges à craquer sont habituellement injectées dans la zone réactionnelle à une température généralement comprise entre 480 et 540°C, sous une pression relative de 0,7 à 3,5 bars, tandis que la température du catalyseur régénéré qui arrive dans cette zone peut être de l'ordre de 600 à 950°C. [8]

**I.7.1 Théorie de craquage catalytique**

Le craquage catalytique permet d'obtenir des molécules plus simples par fragmentation d'hydrocarbures complexes, d'améliorer ainsi la qualité et d'augmenter la quantité de produits légers plus intéressants et de diminuer la quantité de résidus. Des hydrocarbures lourds sont exposés, dans des conditions de température élevée et de basse pression, à des catalyseurs qui initient les réactions chimiques. Au cours de ce processus, il y a réarrangement de la structure moléculaire, ce qui transforme les charges d'hydrocarbures lourds en fractions plus légères, par exemple kérosène, essence, gaz de pétrole liquéfiés, fioul domestique et charges pétrochimiques. On choisit le catalyseur de façon à obtenir à la fois la réactivité la plus élevée possible et la meilleure résistance à l'attrition. Les catalyseurs utilisés dans les unités de craquage des raffineries sont normalement des matières solides poreuses (zéolite, hydrosilicate d'aluminium, argile de bentonite traitée, terre à foulon, bauxite et silico-

aluminates) se présentant sous forme de poudres, de billes, de pastilles ou de granules façonnés appelés extrudates. [9]

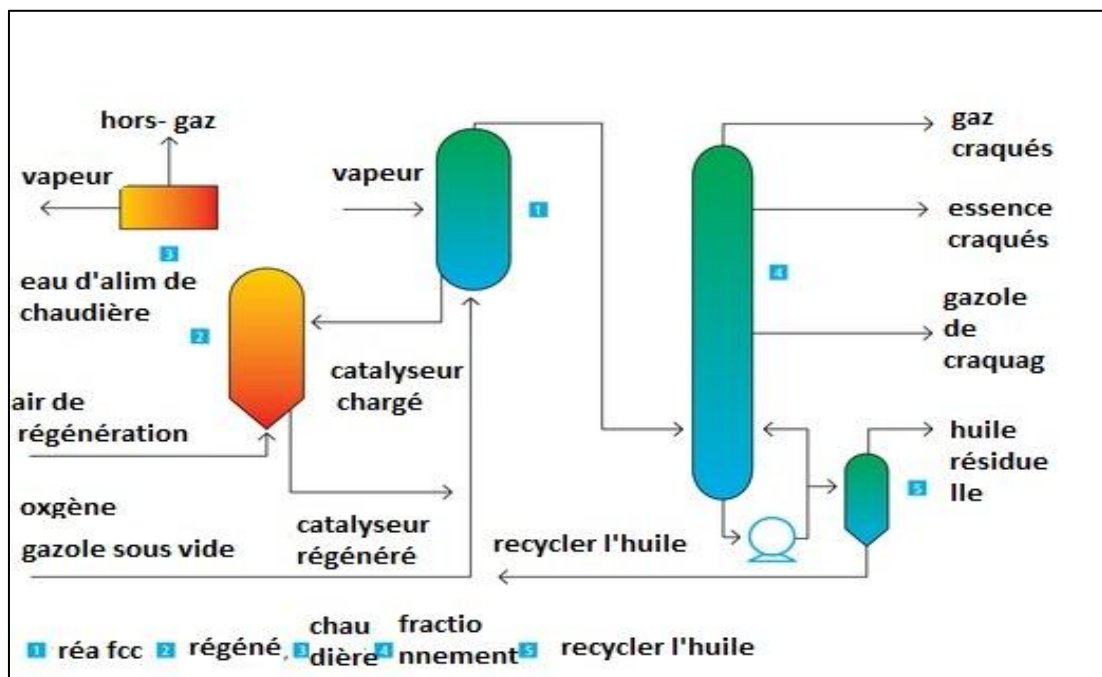


Figure I.5 : Craquage catalytique FCC. [4]

### I.7.2 Unité du procédé de craquage catalytique

Transformer, en présence d'un catalyseur, les coupes lourdes à longues chaînes d'hydrocarbonés en coupes légères pour être utilisées dans la fabrication du carburant. Comme toujours, l'objectif est d'avoir le maximum de produits à haute valeur marchande. [9]

Le procédé de craquage catalytique permet d'obtenir :

- des gaz de chauffe.
- de la matière première, par exemple l'éthylène.
- des essences après disparition de l'essence au plomb, le plomb étant un « poison » pour les pots catalytiques.[9]

### I.8. Généralités sur les essences

L'essence est utilisée dans le monde entier en quantités énormes avec le développement du moteur automobile et de l'essence à un taux de pression croissant, ce qui a conduit à une augmentation de la demande de carburant à indice d'octane élevé, il est donc soumis à des traitements spéciaux.[9]

### I.8.1 Définition d'une essence

C'est un liquide combustible d'origine fossile issue de la distillation du pétrole et utilisé comme carburant dans les moteurs à combustion interne.

Les compositions d'essence (hydrocarbures) sont différentes selon l'origine géographique du pétrole utilisé, et les procédés de raffinage appliqués.

Le mélange ne peut être commercialisé que si les propriétés physiques sont vérifiées (densité, volatilité), énergétiques (pouvoir calorifique) et chimiques (indice d'octane) [9]

### I.8.2 Compositions et caractéristiques des essences

Généralement, les composants d'essence sont des hydrocarbures :

- Entre 20 % à 30 % d'alcane
- 5 % de cyclo alcanes
- Entre 30 % à 45 % d'alcènes
- Entre 30 % à 45 % d'hydrocarbures aromatiques

On trouve aussi des fractions non hydrocarbonées, sont des résines ou les impuretés que l'on trouve en (ppm) dans l'essence, ces résines sont : le soufre qui se trouve en quantité maximale autorisée ( $\leq 100$  voire 50ppm), ainsi qu'une présence d'une base de l'oxygène (teneur en oxygène  $\geq 2\%$  de masse). [10]

### I.8.3 Propriétés physique et chimiques d'essence

**Tableau I.3.** Propriétés physiques et chimique d'essence [10]

Essence (hydrocarbure)	
<b>IDENTIFICATION</b>	
No CAS86290-81-5	
No ECHA100.081.080	
No CE289-220-8	
Apparence	liquide mobile
<b>Propriétés chimiques</b>	

Formule paraffines, cyclo paraffines, hydrocarbures oléfiniques et aromatiques. C3
<b>Propriétés physiques</b>
<b>T° fusion</b> < -60 °C
<b>T° ébullition</b> 20 à 200 °C
<b>Solubilité</b> 100 à 250 mg L <sup>-1</sup> dans l'eau
<b>Masse volumique</b> 680 à 790 kg m <sup>-3</sup> (15 °C)
<b>T° d'auto-inflammation</b> environ 300 °C
<b>Point d'éclair</b> -40 °C
<b>Limites d'explosivité dans l'air</b> 1,3-7,1 % vol
<b>Pression de vapeur saturante</b> 350 à 900 hPa (37,8 °C)
<b>Thermochimie</b>
<b>PCS</b> 33 600 000 J/L
<b>Précautions</b>
<b>SGH4</b>

### I.9. L'indice d'octane

L'essence utilisée comme carburant dans nos véhicules est une énergie fossile, composée de plusieurs éléments, parmi ses composants on trouve l'octane est un hydrocarbure saturé de la famille des alcanes, de formule brute C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>. [11]

L'indice d'octane correspond à la proportion en pourcentage d'octane qui conduirait à un comportement équivalent en termes d'auto-inflammation. [11]

Il exprime donc la capacité de l'essence à résister à l'auto-allumage (dans un moteur à allumage commandé). Une essence à indice d'octane élevé ne s'enflammera pas (ou peu) dans la chambre de combustion tant que la bougie n'a pas produit d'étincelle. Elle préserve ainsi la performance et la longévité du moteur. [11]

# *Chapitre II*

## *Généralité sur le craquage catalytique*



**II.1 Introduction**

Le craquage en chimie, en particulier du pétrole, est le processus consistant à décomposer une fraction organique complexe en éléments plus petits, en particulier des alcanes et des alcènes, et en définissant les conditions représentées par la température et la pression, ainsi que la nature du catalyseur, qui est souvent catalyseurs et autres éléments de craquage, et nous en mentionnons deux types Du craquage au craquage thermique et au craquage catalytique, le craquage est l'un des processus importants dans le raffinage du pétrole, pour produire des matériaux plus léger.

**II .2 Définition**

Le craquage du pétrole est la conversion de pièces lourdes avec un point d'ébullition élevé supérieur à 200 degrés en fractions légères riches en hydrocarbures ramifiés et aromatiques.

**II.2.1 Le Craquage Thermique**

La température est la principale source d'énergie, étant donné que certains réactifs sont endothermiques, ce qui entraîne une augmentation du nombre de molécules. Le craquage thermique est principalement appliqué aux distillats intermédiaires à une température comprise entre 450 et 500 C° degrés Celsius sous pression et fournit des alcènes qui forment la majeure partie de l'essence. Cette réaction est considérée comme un produit de coke.

**II.2.2 Le craquage catalytique**

Le craquage catalytique est le craquage qui permet le démantèlement de grosses molécules d'alcane à une température de 500 degrés Celsius, qui est basé sur la conversion du distillat sous vide en morceaux plus légers à haute température et basse pression, elle procédé par mécanisme acide. Le catalyseur utilisé et donc un catalyseur acide constitué d'une zéolithe et d'une matrice à base de silice –alumine.

**II.3 Historique**

Dés 1877/1878, Friedel et Craft ont utilisé le chlorure d'aluminium comme catalyseur pour la conversion des coupes lourdes des pétroles pour l'obtention des coupes légères et qui sera commercialisé dès 1915 par la Gulf Refining Company. Mais à cause des pertes de

chlorure d'aluminium dans les phases hydrocarbonées et la corrosion par le HCl utilisé comme co-activant, ce procédé a été abandonné. En 1923, E.J Houdry a entrepris des études qui devaient aboutir au procédé du craquage catalytique dont la 1<sup>ère</sup> unité industrielle fut construite aux USA par la Houdry process corporation.

## II.4 Craquage des principales familles d'hydrocarbures

Les principales familles d'hydrocarbures sont: les paraffines, oléfines, aromatiques et les naphthènes.

### II.4.1 Craquage des paraffines

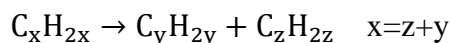
Les molécules à masse moléculaire élevée craquent plus facilement que les molécules à masse moléculaire basse,[12] à 500 °C sur un catalyseur Silice- Alumine – Zircon, le pourcentage de la conversion est : n  $C_5H_{12} < 1\%$  ; n  $C_7H_{16} < 3\%$  ; n  $C_{12}H_{26} < 18\%$  ; n  $C_{16}H_{34} < 42\%$ .[13]

### II .4.2 Craquage des naphthène

Il se craque plus facilement que les paraffines ordinaires, et il y a très peu de déshydrogénation des naphthènes, et cette réaction donne des paraffines et des oléfines.

### II .4.3 Craquage des oléfines

Ils ont des vitesses de craquage très élevées par rapport aux paraffines et sont susceptibles d'être égales. L'addition d'un proton à une molécule d'oléfine fournit le même ion que celui résultant d'un détachement d'un ion hydrure d'une molécule de paraffine ayant le même nombre de carbone. Le craquage catalytique des oléfines engendre parfois les naphthènes et les aromatiques



Oléfine    oléfine    oléfine



Oléfine    dioléfine    hydrogène

La transformation des oléfines à des paraffines et des dioléfines ou des aromatiques, cette réaction de transfert d'hydrogène jouent un rôle considérable dans le craquage catalytique.

#### **II.4.4 Craquage des aromatiques**

Les noyaux aromatiques sont très stables. Les substances aromatiques lourdes se condensent et conduisent au coke. La qualité de la charge a un impact significatif sur la sélectivité du craquage catalytique.

Ainsi la présence des hétéroatomes dans la charge catalytique tels que le soufre, l'azote et les organométalliques donnent naissance à des réactions secondaires parasites. Les molécules soufrées et azotées sont partiellement transformées en  $H_2S$  et  $NH_3$  que l'on retrouve dans les gaz légers.

#### **II.5 Technique de craquage catalytique**

Le craquage catalytique est le procédé le plus largement utilisé dans l'industrie pétrolière en convertissant les fractions pétrolières lourdes en produits de base pouvant être utilisés comme essence et carburant diesel.

##### **II.5.1 Principes directeurs**

Un catalyseur solide a pour but d'accélérer une réaction chimique déterminée et de ce fait, lors de la mise en œuvre, on doit considérer l'ensemble (catalyseur, réaction chimique et conditions opératoires appropriées). Par ailleurs, lors de l'application industrielle, on veillera à préserver, dans toute la mesure du possible, les caractéristiques essentielles du catalyseur, à savoir :

- A. Son activité.
- B. Sa sélectivité.
- C. Sa stabilité.[14]

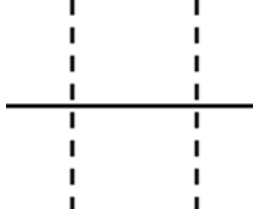
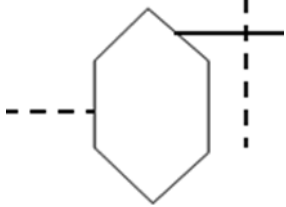
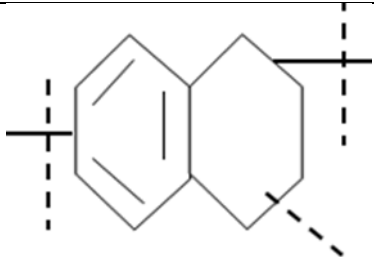
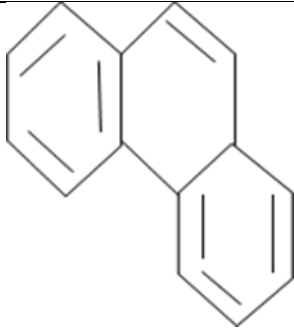
##### **II.5.2 Unité de craquage catalytique**

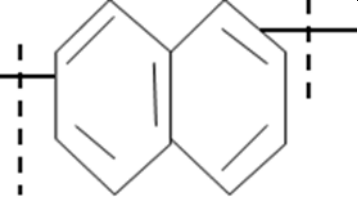
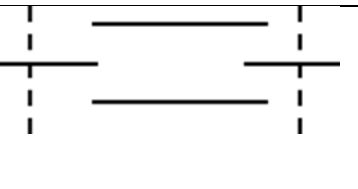
Une unité classique de craquage catalytique comprend deux sections principales :

- ❖ Le réacteur (ou riser) dans lequel ont déroulent les réactions de craquage avec dépôt de coke sur le catalyseur.

- ❖ Le régénérateur où une injection d'air permet le brûlage du coke à une température comprise 650 et 720 °C.

**Tableau II.1.** Principales réactions des différentes familles d'hydrocarbures en craquage catalytique.[15]

Hydrocarbures	Structure chimique Schématique	Nature des réactions prédominantes	Principaux produits obtenus
<b>Paraffines</b> (Normale et iso)		Rupture de la chaîne HC en divers points, les ruptures en bout de chaîne sont favorisées	ramifiées comprenant au moins 3 atomes de Carbone, peu de Méthane
<b>Naphtènes</b>		Rupture des cycles et des chaînes latérales	Paraffines et oléfines un peu d'aromatiques
<b>Naphtènes aromatiques</b>		Ouverture du cycle naphténique, rupture des chaînes latérales au niveau des cycles aromatiques	Paraffines, oléfines et aromatiques
<b>Aromatiques sans Chaîne latérale</b>		Craquage négligeable	Coke

<p><b>Aromatiques avec Chaîne latérale</b></p>		<p>Rupture des chaînes latérales au niveau des cycles aromatiques</p>	<p>Oléfines et aromatiques</p>
<p><b>Oléfines</b></p>		<p>Rupture de la chaîne hydrocarbonée en divers points</p>	<p>Oléfines ramifiées, un peu de paraffines</p>

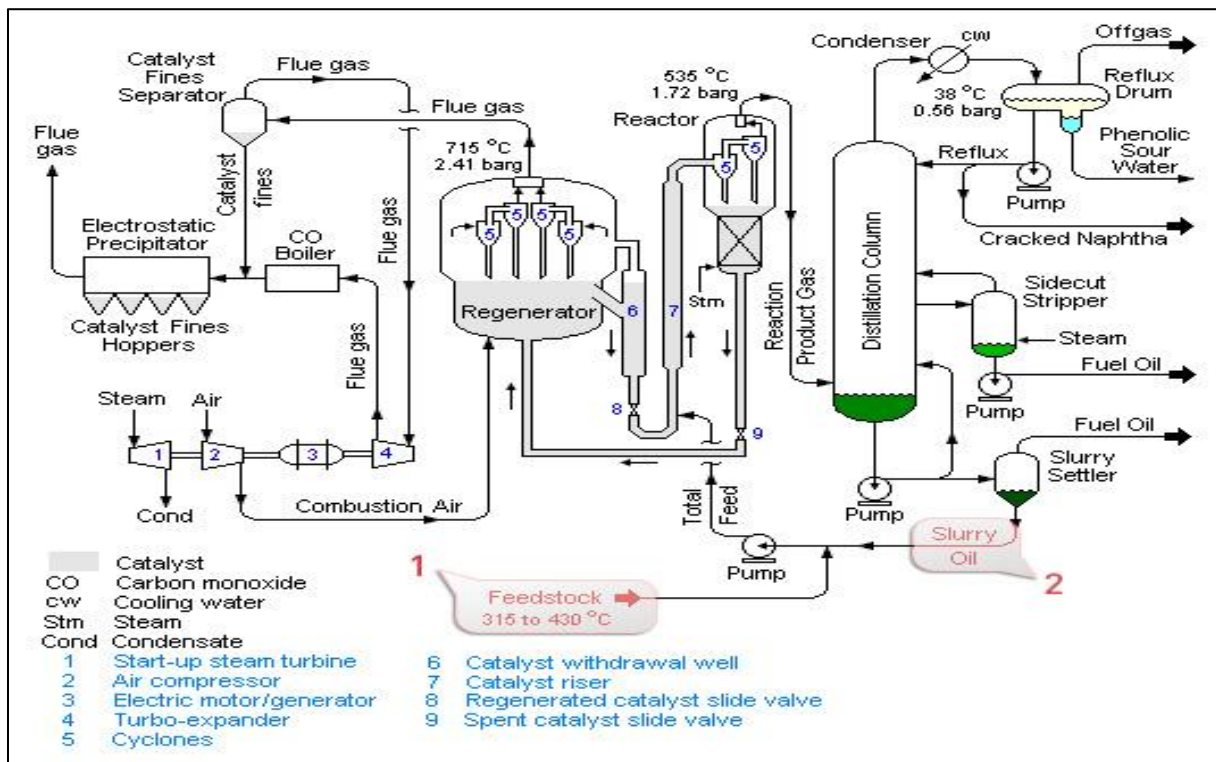


Figure II.1. Schéma générale d'une unité de craquage catalytique.[13]

Les différents types de procédés de craquage catalytique :

On distingue différents procédés de craquage catalytique de technologie spécifique.

**Craquage catalytique à lit mobile (TCC)**

Au début de 1941 le TCC ou Thermo for Catalytic Cracking, qui est un procédé à lit mobile, vit le jour où la première unité commerciale a été mise en route à la raffinerie de Beaumont (Texas) en Septembre 1943.

Pendant la deuxième guerre mondiale, 35 unités furent en service aux USA représentant une capacité totale de 52500 M<sup>3</sup>/J. Le catalyseur en granule descend d'une trémie placée à la partie supérieure de l'unité et traverse par gravité réacteur et régénérateur jusqu'à la trémie supérieure étant assurée par deux élévateurs à godets.[14]

**Craquage catalytique à lit fixé (TCC)**

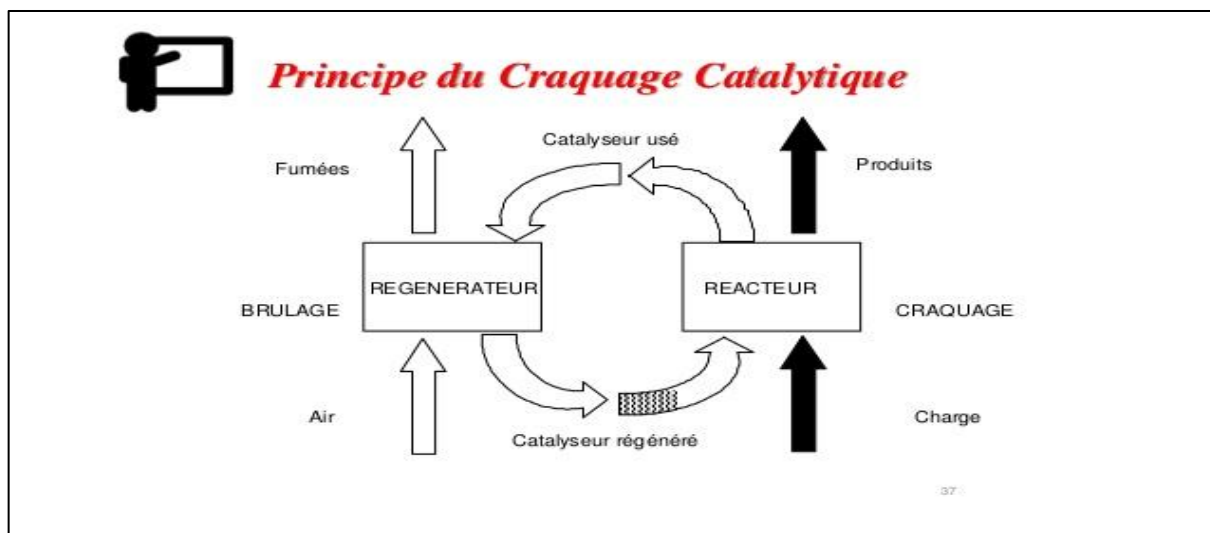
C'est le premier procédé industriel, réalisé en 1936 par « HOUDRY » qui utilisait trois réacteurs travaillant alternativement en réaction puis régénération, chaque opération étant séparée de la suivante par une purge de gaz produit dans l'opération précédente. [14]

**Craquage catalytique à lit fluidisé (FCC)**

Un craquage catalytique en lit fluide est souvent la pièce maîtresse d'une raffinerie de pétrole. Le processus est conçu pour «craquer» la fraction de gazole lors de la distillation. La fission se fait au moyen d'un catalyseur qui se comporte comme un fluide lorsqu'il est aéré avec de la vapeur.

Les matières premières d'alimentation du FCC sont le gazole atmosphérique, les fonds de colonne sous vide ou le gazole de cokéfaction. Ces matières premières sont envoyées à très hautes températures au contact de la vapeur, puis du catalyseur. Ce processus change la structure de la molécule de carbone de la plus lourde à la plus légère. Les produits en sortie du FCC sont pour la plupart les matières premières pour les unités d'alkylation (propylène, l'isobutène, essence, carburant diesel. [16]

Dans ce procédé le catalyseur utilisé est sous forme de poudre et circule comme un fluide entre le réacteur et le régénérateur .Le catalyseur chaud venant du régénérateur à 590 °C est mélangé à la charge, ce qui la vaporise ; les vapeurs formées vont entraîner le catalyseur en poudre, tout comme l'air comprimé le faisant dans le procédé T.C.C.[14]



**Figure II.2.** Principe du craquage [17]

## II.6 Charges et produits

La charge typique alimentant le **FCC** est le distillat sous vide du point d'ébullition initial **350-380 °C** et de point final **550-560 °C** environ. Dans de nombreux cas, nous ajoutons à la raffinerie d'autres matières premières avec des poids moléculaires similaires. Ce procédé très flexible est généralement alimenté en distillats sous vide, huiles de désalphate et autres déchets traités avec de l'hydrogène, de la paraffine, des distillats de viscosité et du coke.

## II.7 Produits

Les produits de conversion du craquage catalytique sont largement oléfiniques pour les fractions légères et fortement aromatiques pour les fractions lourdes. Un éventail très large de produits est obtenu allant des gaz légers ( $C_4$ ) aux fractions très lourdes ( $HCO_2$ : 350-550 °C, slurry : 550 °C) et même coke. Le produit habituellement le plus recherché est l'essence dont le rendement moyen est de l'ordre de 50 % en poids par rapport à la charge. [18]

Le présent exemple montre les avantages de la présente invention en comparant l'efficacité en rendement de produits lorsqu'on craque des charges faiblement cokantes dans une unité de FCC avec ou sans recycle de coupes cokantes.

On distingue un cas de base sans recycle avec une unité de craquage catalytique (FCC) à un seul réacteur ascendant ou "riser" d'une capacité de 40 000 barils par jour, soit 240 tonnes par heure, et traitant une charge correspondant du VGO hydro traité.

## II.8 Description du procédé de craquage catalytique

Un craqueur catalytique est constitué de deux parties majeures, à savoir la partie où se produit la réaction de craquage avec le dépôt de coke sur le catalyseur et la partie où se produit

la régénération caractérisée par la combustion du coke. La réaction de craquage de l'alimentation en hydrocarbure se produit au niveau du riser tandis que le régénérateur réactif le catalyseur en brûlant le coke dépose à sa surface. [19]

L'alimentation du FCC est préchauffée à une température comprise entre 450-600K. Ensuite, elle est injectée à la base du riser avec une petite quantité de vapeur et se vaporise en rentrant en contact avec le catalyseur chaud de l'ordre de 900 à 1100K. Les vapeurs d'hydrocarbures subissent une réaction endothermique pendant leur ascension dans le riser qui est due à une pression plus élevée à la base du riser et à la faible densité du mélange catalyseur/vapeur. Le temps de séjour du catalyseur et des vapeurs d'hydrocarbures (en supposant que le catalyseur solide et les vapeurs ont le même temps de séjour) dans le riser est de l'ordre de quelques secondes. La température au sommet du riser est comprise entre 750 et 820K.

Le réacteur situé en haut du riser sert comme désengagement. Il permet de séparer les particules de catalyseur des vapeurs à l'aide de cyclones. Les vapeurs récupérées entrent dans le fractionner principal. Le catalyseur utilise s'écoule dans le stripper situé en bas du réacteur où les hydrocarbures restant sur sa surface sont extraits par injection de vapeur. Le catalyseur usé est renvoyé à travers une ligne de transport vers le régénérateur.

Dans le régénérateur, le catalyseur est réactivé par combustion du coke déposé à sa surface en utilisant l'air injecté à la base du régénérateur. Cette réaction de combustion sert également à maintenir la température du lit entre 950-980K pour un craquage de gazole. Le catalyseur régénère est renvoyé en continu dans le riser à travers un autre circuit contenant une vanne dont le rôle est de réguler l'écoulement du catalyseur régénère, de maintenir la pression nécessaire dans le régénérateur et de le protéger d'un écoulement inverse. Le FCC peut être décrit selon un schéma-bloc. [14]



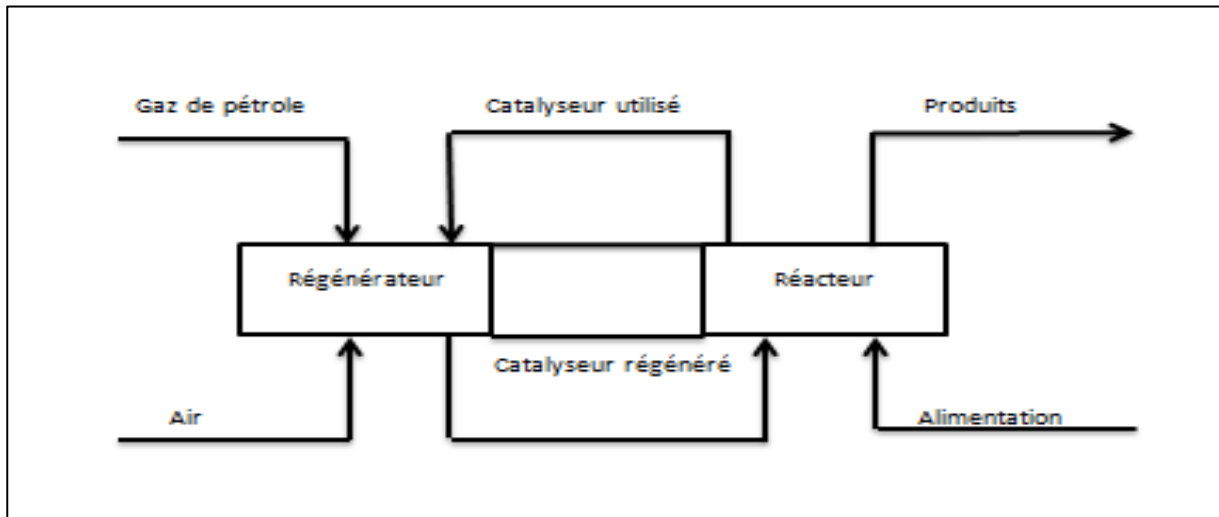


Figure. II.3. Schéma-bloc du FCC [14].

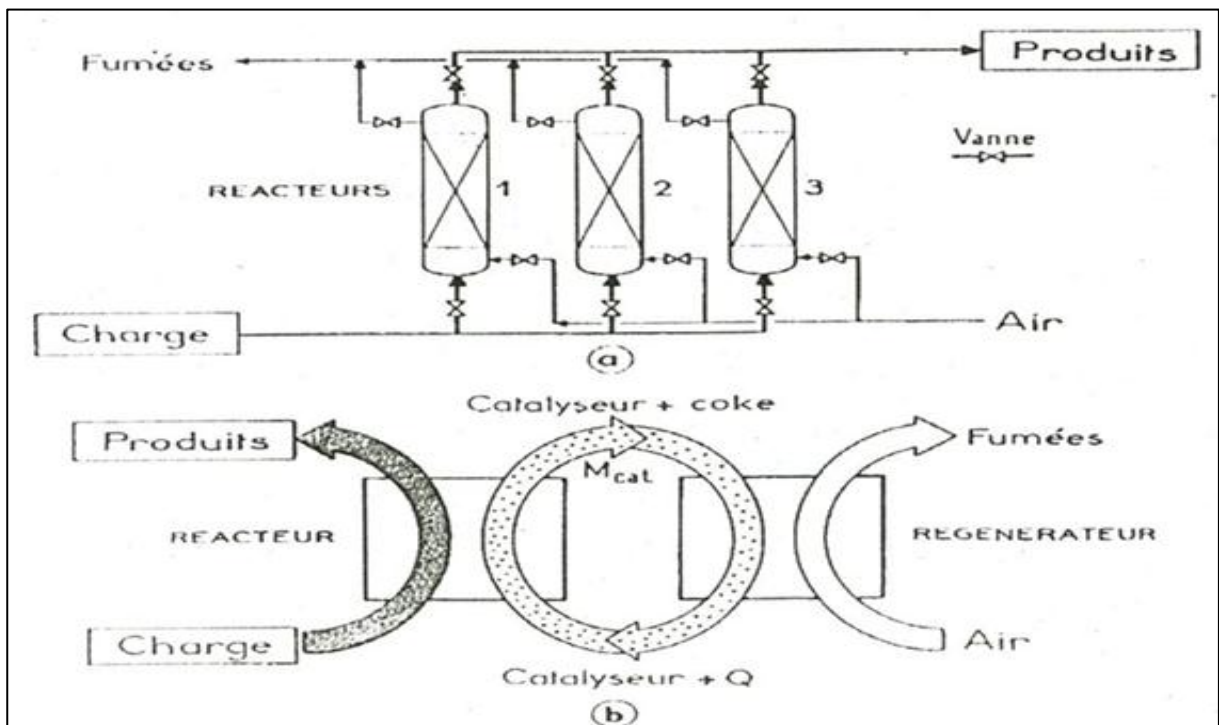


Figure.II.4. Schéma de principe des procédés de craquage catalytique [13]

## II.9 Les catalyseurs du craquage catalytique

### II.9.1 Définition d'un catalyseur

C'est une substance qui sans figurer dans le produit final et sans subir de modification structurale, modifie la rapidité d'une réaction chimique.

Les catalyseurs sont des substances qui par leur seule présence et sans prendre part aux réactions, les accélèrent. En présence d'un catalyseur, la réaction est caractérisée par une

augmentation de la vitesse de la transformation des réactifs et la diminution de l'énergie d'activation.

### **II .9.2 La stabilité du catalyseur**

La stabilité nous renseigne sur l'obtention des propriétés du catalyseur en fonction du temps dans des conditions de mise en service et en régénération. Suivant les conditions opératoires, les propriétés du catalyseur peuvent être altérées par :

1. Le dépôt du coke sur certains catalyseurs (bouchage des pores).
2. Perte d'activité par destruction physique ou chimique des agents activant.
3. Agglomération des sites actifs par frittage. [20]

### **II .9.3 Morphologie**

La morphologie externe des grains catalytiques doit être adaptée au procédé catalytique correspondant. Pour les lits mobiles, ces catalyseurs sont sous forme de poudre sphérique pour éviter les pertes de charge et l'attrition.

Pour les lits fixes, on peut utiliser des catalyseurs sous forme de billes ou d'anneaux ou de pastilles. [21].

### **II .9.4 Résistance mécanique**

Une bonne résistance mécanique évite au catalyseur l'écrasement dû à son poids et aussi aux différentes contraintes mécaniques résultant du déplacement entre réacteur et régénérateur et aussi évite l'abrasion des grains, qui par frottement les uns contre les autres, produisent des fines particules qui peuvent créer une augmentation des pertes de charge dans le lit catalytique. [15]

### **II .9.5 Résistance thermique**

Les réactions catalytiques sont, soit exothermiques ou endothermiques. Ainsi un catalyseur doit avoir une activité thermique et une capacité thermique appropriées afin de maintenir un gradient de température en facilitant le transfert de chaleur à l'intérieur et à l'extérieur du grain catalytique. [22].

### **II .9.6 Régénérable**

Après un certain temps d'activité, les catalyseurs perdent de leur activité par vieillissement. Quand leur activité et leur sélectivité sont devenues insuffisantes, on procède à leur régénération pour leur permettre de retrouver leurs propriétés initiales.

Dans le craquage catalytique, le catalyseur après un certain temps relativement court perd de son activité par dépôt de coke sur les sites actifs, lors de la régénération, on procède à la combustion du coke pour restaurer l'activité. [23]

### **II .9.7 Reproductibilité**

Cette propriété est très importante du point de vue approvisionnement du réacteur en catalyseur identique. Pour éviter la fluctuation des propriétés du catalyseur lors de sa formulation, il faut s'assurer que la préparation du catalyseur à l'échelle de laboratoire doit être reproduite à l'échelle industrielle, dans des conditions économiquement acceptables

Les premiers catalyseurs solides utilisés pour le craquage sont des argiles naturelles type bentonite dont le constituant principal est la montmorillonite silicate d'aluminium hydratée renfermant peu de magnésie, Elles sont traitées à l'acide pour augmenter sa stabilité thermique et extraire les impuretés qui favorisent la formation du coke et des gaz légers.[15]

En 1941, les premiers catalyseurs synthétiques étaient à base de Silice-Alumine 15 -17 % de  $Al_2O_3$ , ils sont plus actifs et plus sélectifs et ne contiennent pas d'impuretés. Ils sont sous forme de pastilles, pour le craquage à lit mobile T.C.C et sous forme de poudre broyée pour le lit fluide (F.C.C).

### **II .10 Mode de préparation des catalyseurs de craquage**

Les principales qualités que doit réunir la technique de fabrication d'un catalyseur sont les suivantes :

- 1) Permettre de produire au moindre coût un catalyseur aussi actif, sélectif et stable que possible.
- 2) Etre correctement reproductible.

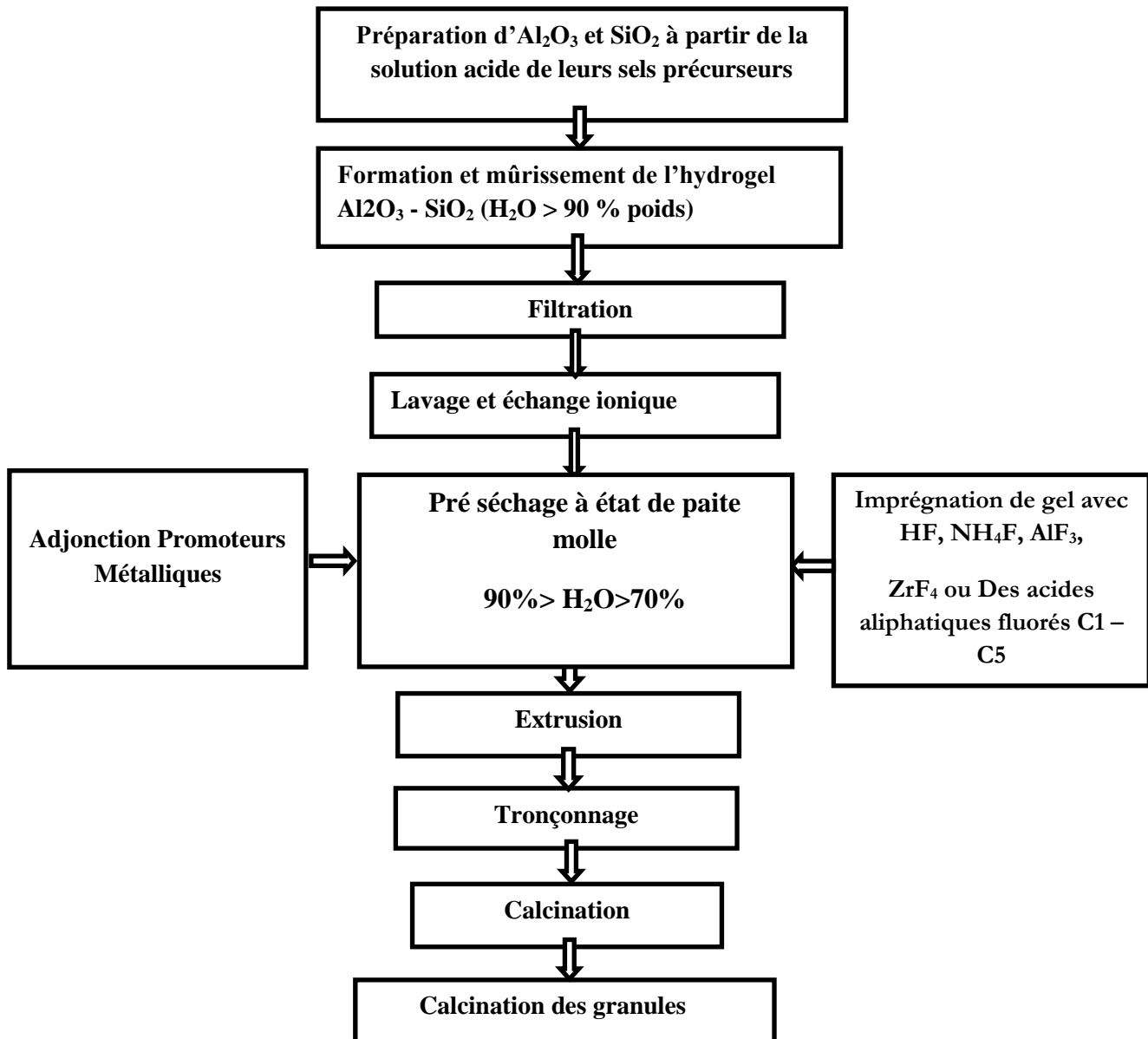
La majorité des catalyseurs industriels utilisés dans le domaine chimique et génie chimique sont constitués d'éléments métalliques divers sous forme de métal, d'oxyde ou de sulfure déposé sur un support de grande surface.

Dans le craquage catalytique, les catalyseurs utilisés sont à base de silice alumine amorphe ou cristalline. [24]

#### **II.10.1 Mode de préparation des catalyseurs conventionnels**

Préparation des catalyseurs conventionnels :

Les principales étapes d'opérations qui jalonnent la chaîne de fabrication sont données sur la Figure II.6.



**Figure II.6.** Principales étapes de fabrication des aluminosilicates sous formes de granules cylindriques. [13]

La première étape a pour but de produire un hydrogel, qui est le produit final de la polycondensation progressive, par neutralisation acido-basique d'une silice et d'une alumine hydratées formées à partir de leurs sels précurseurs.

Après mûrissement approprié de l'hydrogel et l'élimination de l'eau excédentaire par filtration, on procède alors à un échange cationique pour augmenter l'activité et la résistance du catalyseur. Ensuite, on procède à la mise en forme de séchage du catalyseur utilisé industriellement : soit sous forme de granules sphériques ou cylindriques pour le lit mobile (T.C.C), soit en poudre pour le lit fluide (F.C.C).

Dans la production de granules cylindriques, la pâte issue du pré séchage subit une extrusion par forçage à travers une filière dans les conditions soigneusement standardisées.

Les catalyseurs pulvérisant, quant à eux, peuvent être obtenus par la technique dite d'atomisation (Spray drying). La technique consiste à injecter une pâte finement pulvérisée en gouttelettes pour produire de fines particules solides ayant un diamètre compris entre 60 et 700  $\mu\text{m}$ . La séparation de l'air est réalisée dans des cyclones.

La technique de production de granules sphériques, consiste à pulvériser l'hydrogel dans une huile chaude. C'est la technique de coagulation en gouttes (Oil Drop).

Sous l'effet de l'apport de calories, elles se coagulent, ensuite, elles se sèchent tout le long de leur descente dans la colonne d'huile suivant les conditions opératoires. Les granules sphériques ont un diamètre compris entre 30  $\mu\text{m}$  et 50  $\mu\text{m}$ .

Après la mise en forme et un éventuel séchage complémentaire, on procède à l'activation par calcination à l'air vers 500° C. [15]

### **II.10.2 Préparation des catalyseurs zéolithiques du craquage**

La préparation de type de zéolithes synthétiques, découverte par Barrer [13], et dont la mise en œuvre est réalisée par UNION CARBIDE (Division Linde), s'effectue de la même manière que les catalyseurs amorphes ou conventionnels ; généralement à partir d'une solution de silicate et d'aluminate de sodium en milieu fortement basique (pH= 12, 13). Le mélange est chauffé à 100 à 125 °C, pendant 5 à 10 heures après refroidissement et filtration, les cristaux formés sont lavés et séchés à 150°C. Le produit obtenu est une poudre blanche finement divisée. [26]

Pour assurer la neutralité électronique de la structure, les charges négatives portées par les ions aluminium Al doivent, de plus, être compensées par des cations qui sont généralement des  $\text{Na}^+$  présents dans les précurseurs alcalins de l'hydrogel.

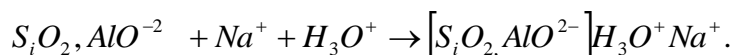
Dans la pratique la forme sodique des aluminosilicates ainsi obtenus présente une activité et une sélectivité et une stabilité les plus médiocres. Afin d'améliorer ces propriétés fondamentales d'emploi, la préparation des catalyseurs industriels comprend une étape d'échange d'ions conduite sur l'hydrogel à des pH compris entre 3,5 et 8,5 en présence d'un acide  $\text{H}_3\text{O}^+$  d'un sel d'ammonium  $\text{NH}_4$ . Dans la

production de granules cylindriques, la pâte issue du pré séchage subit une extrusion par forçage à travers une filière dans les conditions soigneusement standardisées.

Pour assurer la neutralité électronique de la structure, les charges négatives portées par les ions aluminium ( $Al^{3+}$ ) doivent, de plus, être compensées par des cations qui sont généralement des  $Na^+$  présents dans les précurseurs alcalins de l'hydrogel.

Dans la pratique la forme sodique des aluminosilicates ainsi obtenus présente une activité et une sélectivité et une stabilité les plus médiocres.

Afin d'améliorer ces propriétés fondamentales d'emploi, la préparation des catalyseurs industriels comprend une étape d'échange d'ions conduite sur l'hydrogel à des pH compris entre 3,5 et 8,5 en présence d'un acide  $H_3O^+$  d'un sel d'ammonium  $NH_4^+$ .



Ainsi, la teneur en sodium comptée en  $Na_2O$  peut être ramenée au –dessous de 0,25 % en poids. [15]

### II.10.3 Catalyseurs zéolithiques

La structure des catalyseurs zéolithiques est constituée d'une charpente de tétraèdres unis par leurs sommets et centrés sur un atome de silicium ou sur un ion d'aluminium tétravalent.

Les zéolithes de nature cristalline sont, de plus caractérisées par une organisation tridimensionnelle à longue distance réalisée par répétition selon des axes privilégiés de motifs structuraux identiques. Ils sont constitués à partir de la cage sodalitique octaèdre tronquée creuse.

L'assemblage de ces cages sodalitiques entre elle peut s'effectuer par l'intermédiaire soit des tétraèdres portés par les faces hexagonales les zéolithes X, Y soit par ceux des faces carrées zéolithes A. [27]

La neutralité électronique est assurée par des cations provenant des sels précurseurs, contrairement aux catalyseurs amorphes où l'échange ionique se fait avec des ions  $H^+$  ou

ammonium. Dans le cas des zéolithes, l'échange ionique se fait avec ces mêmes ions conduit à des zéolithes qui tendent à se décomposer et à perdre leur cristallinité. Ainsi, l'échange ionique est réalisé avec des ions bivalents ( $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Mn^{++}$ ) et les terres rares qui augmentent le diamètre des pores et le nombre de sites actifs. [28]

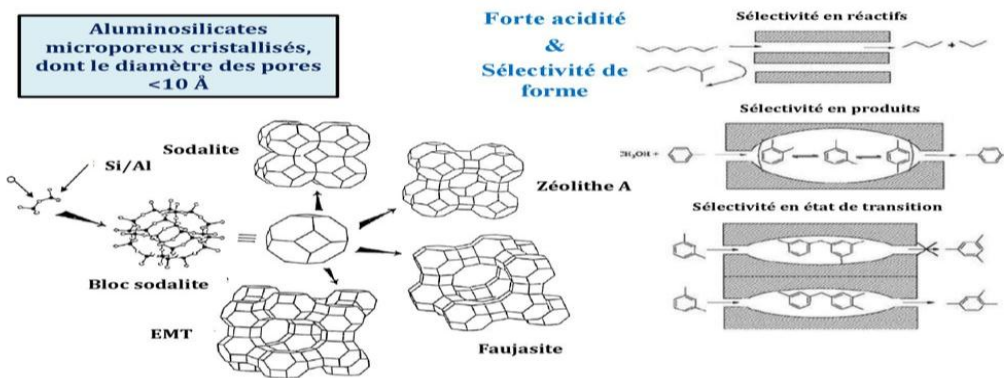


Figure II.7. Structures chimiques des zéolithes [15]

#### II.10.4 Produits et rendements

Général : fort déficit en hydrogène par rapport à la charge les gaz : rendement de 21% dont 16% de C3/C4 Oléfines et H<sub>2</sub>S.

Les essences : rendement de 45% octane élevé, soufre important (2000 ppm) à repasser à l'hydrotraitement.

Les gasoils : rendement de 26% Cétane faible, Soufre élevé base de fuel domestique, peu dans le gasoil moteur.

Le résidu : rendement de 1% liquide à haute densité et basse viscosité, Soufre élevé

Le coke : rendement de 7 à 8% source énergétique de l'unité + export d'énergie. [15]

#### II.10.5 Les conditions Opératoires

Réaction: faible pression (1 à 2 b) et haute température (500 à 530°)

Régénération : 670° à 700°. Basse pression. Brûlage partiel Une quantité de coke à brûler importante : énergie disponible Par exemple 180 t/j de coke brûlées  $180 \times 5500 = 990\,000$  tcal/j.

Réaction et fractionnement : Chaleur transportée par le catalyseur vers la réaction/fractionnement Débit de catalyseur 12.9 t/mn de catalyseur en circulation.

Récupération sur les fumées : Fumées chaudes, sous légère pression et combustion. [15]

### **II.11 Conclusion**

Le craquage catalytique est l'un des procédés de conversion les plus importants utilisés dans les raffineries de pétrole Le craquage catalytique permet de corriger le déséquilibre entre la demande du marché en carburants et les surplus de produits à haut point d'ébullition, lourds, issus de la distillation du pétrole brut. Ainsi, plusieurs entreprises dans le monde travaillent à moderniser afin d'augmenter la production et d'atteindre l'équilibre du marché.



# *Chapitre III*

*Généralité sur la*

*Simulation par Hysys*

**III.1. Introduction**

Un simulateur est un dispositif technique qui permet une reproduction virtuelle d'une situation, il est donc un moyen facile de contrôler et d'observer la forme. S'il existe plusieurs modèles, alors le simulateur est un outil de simulation de système et est basé sur la représentation d'un processus au moyen d'un modèle mathématique, qui est ensuite obtenu des informations sur les performances du processus.

L'objectif de la simulation est de prédire le comportement d'un procédé spécifique déjà dans des conditions de fonctionnement et permet également d'augmenter l'efficacité des usines et de réduire leur impact environnemental.

D'un bon nombre de simulateurs qui migrent de CAO le programme Aspen Hysys qui se spécialise dans la simulation de processus puissants et efficaces, y compris et ainsi de suite ... grâce aux simulateurs promiscuités et Chemcad et Aspen plus. Cette technologie virtuelle est particulièrement intéressante.

Les simulateurs susmentionnés simulent non seulement l'ensemble d'un processus, mais également les différents appareils impliqués dans le processus. On peut citer ci-après : Colonne de distillation ; Extraction Absorption ; Calcul des réacteurs chimiques, Echangeurs de chaleur.

**III.2. Modèle et simulation**

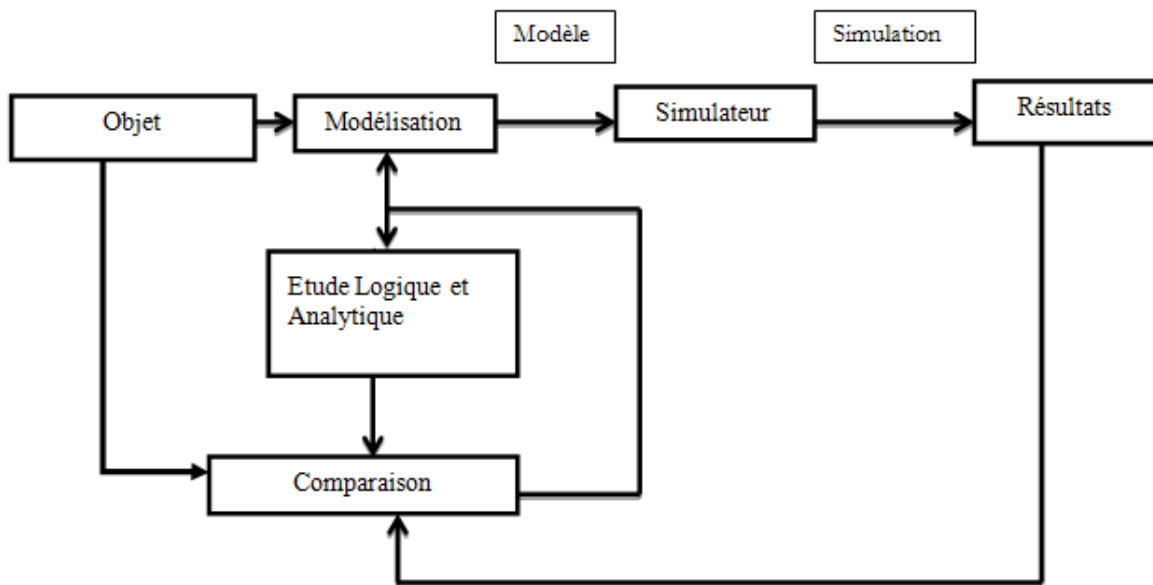
Lorsque le système réel que l'on souhaite observer devient trop complexe et que de nombreuses variables sont en jeu, la modélisation intervient pour prendre en charge et traiter les problèmes : un modèle est élaboré pour essayer de rendre compte de la complexité du système tout en essayant de réduire le nombre de paramètres.

L'analyse du système, la modélisation et la simulation constituent les trois étapes fondamentales de l'étude du comportement dynamique des systèmes complexes :

- L'analyse du système consiste à définir les limites du système à modéliser, à identifier les éléments importants ainsi que les types de liaison et d'interaction entre ces éléments et à les hiérarchiser.
- La modélisation vise à représenter de la meilleure façon possible un objet réel par un

ou des modèles sous forme mathématique. D'une manière générale, lors de l'élaboration du modèle, trois types de données sont nécessaires : les paramètres chimiques (réactions, produits formés, cinétiques et mécanismes), les paramètres de transfert (matière, énergie, quantité de mouvement) et l'hydrodynamique caractérisant les équipements.

- La simulation étudie le comportement d'un système. Elle permet, en particulier, d'étudier l'évolution du système en faisant varier un ou plusieurs facteurs et en confrontant les valeurs calculées aux valeurs observées.



**Figure III.1.** Logigramme pour la modalisation et simulation d'un processus.

### III.2. Méthode de simulateur

Méthodes pour la simulation des procédés :

1. Simulation modulaire séquentielle.
2. Basée sur les équations.
3. Simulation combine.

Les objectifs majeurs des simulateurs de procédés sont les suivants :

Résoudre les équations de bilans matière et énergie pour l'ensemble des appareils du procédé.

- a) Calculer les caractéristiques (débit, composition, température physique, pression) pour tous les fluides qui circulent entre les appareils.
- b) Unir les éléments nécessaires au dimensionnement des équipements, tels que les quantités de chaleur échangées ou les débits internes d'une colonne.
- c) L'estimation des coûts d'investissement et de fonctionnement et, dans un contexte de développement durable de l'impact sur l'environnement et la sécurité.
- d) Optimisation des conditions de fonctionnement du procédé. [29]

Les simulateurs permettent d'attribuer, de manière efficace et rigoureuse, les bilans matière et énergie sur les procédés, déchargeant ainsi l'ingénieur de calculs fastidieux et répétitifs. On comprend alors pourquoi ils constituent les outils de base pour la conception des procédés ... La plupart des simulateurs de procédés modernes utilisent la troisième méthode, c La conception d'une unité de production chimique est une opération complexe qui demande des moyens financiers et humains très importants. Dans le contexte actuel, un procédé industriel doit répondre à trois critères : l'économie, la sécurité et l'environnement. Ainsi, mécanisé nouveau procédé est développé, le rôle de l'ingénieur consiste à trouver le système le plus adapté non seulement en termes d'efficacité et de sécurité, mais aussi de coût et de rentabilité pour fabriquer le produit. A ce titre, la simulation peut être d'une aide très précieuse en prenant en charge et en traitant ces problèmes. Surtout lorsque de nombreuses variables sont en jeu (diversité des composants, complexité des interactions, non linéarité des phénomènes ...etc.)[30]

Le simulateur HYSYS peut être utilisé lors de la conception d'un procédé industriel afin d'établir des bilans de matière et d'énergie d'un procédé industriel et de dimensionner les équipements de ce procédé ou bien dans le suivi des procédés qui sont déjà installés afin de réajuster les paramètres de fonctionnement.

La simulation étudie le comportement d'un système. Elle permet, en particulier, d'étudier l'évolution du système en faisant varier un ou plusieurs facteurs et en confrontant les valeurs calculées aux valeurs observées de types de simulation et autres concepts.

On peut distinguer principalement deux types de simulation dans le cas des procédés chimiques : la simulation statique (steady state) et la simulation dynamique (transient state). [30]

**a. Simulation statique**

La simulation statique d'un procédé vise à définir les propriétés des flux (débit, température, Fraction vaporisée, ...), ainsi que les bilans matière et d'énergie en régime stabilisé.

Le procédé est décomposé en blocs représentant les différentes opérations unitaires mises en œuvre. Les blocs sont liés entre eux par des flux de matière ou d'énergie.

**b. Simulation dynamique**

La simulation dynamique d'un procédé vise à définir les propriétés des courants en fonction du temps, pendant des situations transitoires où le régime n'est pas stable.

La plupart des simulateurs de procédés modernes utilisent la troisième méthode, mais on doit comprendre les premières deux méthodes afin de bien comprendre la méthode combinée.

Le logiciel dont nous disposons est le logiciel HYSYS de la société Hyprotech qui est une filiale du groupe AspenTech. On présente par la suite le logiciel ainsi qu'un exemple de simulation.

**III .4. Le logiciel HYSYS****III .4.1 Présentation de HYSYS**

Mode de fonctionnement :

- À l'état stationnaire (steady state).
- À l'état dynamique (dynamic).

Domaine d'application :

- Procédés de l'industrie gazière.
- Procédés de raffinage et de la pétrochimie.

Fonctionnement de HYSYS :

- L'utilisateur doit spécifier les constituants du gaz, du liquide ou du mélange.
- Il choisit un modèle thermodynamique.
- Il doit établir le schéma de procédé (PFD).
- Il doit aussi spécifier les paramètres nécessaires pour le calcul de chaque opération unitaire.
- HYSYS résout le schéma de procédé.
- HYSYS peut aussi dimensionner quelques équipements.

### III.4.2. Simulation basis manager

**Tableaux III.1.** Simulation basis manager.

Page à onglet	Description
Components	L'utilisateur sélectionne les constituants purs qui forment le mélange.
FluidPkgs	L'utilisateur choisit un modèle thermodynamique selon le mélange créé
Hypotheticals	L'utilisateur caractérise, ici, une huile ou un brut à partir des données expérimentales (TBP, ASTM, kuop.....)
Oil Manager	L'utilisateur caractérise, ici, une huile ou un brut à partir des données expérimentales (TBP, ASTM, kuop.....)
Reaction	Si l'utilisateur veut installer dans la page de simulation un réacteur, il doit créer et caractériser, d'abord, cette réaction dans la page Réaction.

#### a) Les modèles thermodynamiques (Property Packages)

L'utilisateur doit sélectionner le modèle thermodynamique à utiliser pour calculer les propriétés de mélange (masse volumique, enthalpie, ...) ainsi que pour calculer l'équilibre de phases dans les courants et dans les unités de séparation.

#### b) Les diagrammes du procédé (PFD – Process Flow Diagram)

La base d'une simulation est le développement du PFD. Ceci est fait en sélectionnant des unités dans la palette d'objets et en les déposants sur la feuille du procédé. De même, tout courant de matière et d'énergie doit être placé sur le PFD. Chaque courant d'entrée ou de

sortie est connecté à une unité. Les courants et les unités sont nommés et ordonnés sur le PFD afin de faciliter la compréhension du diagramme du procédé.[31]

### **III .4.2 Les étapes d'utilisation du logiciel HYSYS**

Pour réaliser une simulation en HYSYS, les pas suivants sont nécessaires :

1. Choix des composés.
2. Sélection d'un modèle thermodynamique.
3. Construction du PFD.
4. Spécification des courants et des unités.
5. Exécution du programme de simulation.
6. Interprétation des résultats. [32]

#### **a) Principes de fonctionnement et rôle des simulateurs**

Les simulateurs de procédés utilisés classiquement dans l'industrie, peuvent être considérés comme des modèles de connaissance. Ils sont basés sur la résolution de bilans de masse et d'énergie, des équations d'équilibres thermodynamiques, ... et sont à même de fournir l'information de base pour la conception. Ils sont principalement utilisés pour la conception de nouveaux procédés (dimensionnement d'appareil, analyse du fonctionnement pour différentes conditions opératoires, optimisation), pour l'optimisation de procédés existants et l'évaluation de changements effectués sur les conditions opératoires.[1]

Tout simulateur industriel de procédés chimiques est organisé autour des modules suivants :

- Une base de données des corps purs et un ensemble de méthodes pour estimer les propriétés des mélanges appelés aussi modèles thermodynamiques.
- Un schéma de procédé permettant de décrire les liaisons entre les différentes opérations
- Unitaires constituant l'unité (PFD pour Process Flow Diagram).
- Des modules de calcul des différentes opérations unitaires contenant les équations relatives à leur fonctionnement : réacteur chimique, colonne de distillation, colonne de séparation, échangeurs de chaleur, pertes d charges, etc.
- Un ensemble de méthodes numériques de résolution des équations des modèles.[33]

### III .4.3 Les modèles thermodynamique de HYSYS

#### Les équations d'état

Les modèles basés sur les équations d'état (RK, SRK, PR, ... Etc.), sont souvent utilisés pour le calcul des systèmes d'hydrocarbures et des systèmes presque idéaux. Leurs avantages par rapport aux autres modèles résident dans le fait de l'utilisation des coefficients d'interaction-binaire. En générale les équations d'état permettent de calculer l'ensemble des propriétés des produits par rapport à la température et aux fractions molaires. [1]

- ❖ Equation de REDLICH-K WONG (RK).
- ❖ Equation de SOAVE-REDLICH-KWONG (SRK).
- ❖ Equation de PENG-ROBINSON.

### III .4.4. Choix des composés (Components)

Il y a beaucoup de composés dans la bibliothèque et ils sont classés en groupes. Lorsqu'il est possible, les composés peuvent être trouvés en utilisant des filtres et ajoutés à la liste des composés du procédé à simuler. Des difficultés peuvent se produire lorsque :

- a. le fluide ne peut pas être séparé en composés individuels, comme dans le cas du pétrole.
- b. le composé n'est pas dans la bibliothèque du logiciel.

Dans ces cas, les difficultés peuvent souvent être surmontées en définissant un composé hypothétique, avec une quantité minimale de propriétés de base spécifiées par l'utilisateur.

L'ensemble complet des propriétés pour le composé sera alors estimé par le logiciel. Dans ces cas, l'utilisateur doit être vigilant pour s'assurer que les composés se comportent correctement dans la simulation. [34]

### III .4.5 Concepts et caractéristiques du simulateur aspen HYSYS

Concepts de base du simulateur HYSYS :

On définit les principaux concepts de base et vocabulaires associés, qui sont utilisés pendant les étapes de construction d'un modèle dans le simulateur HYSYS :



- « Flowsheet » : c'est un ensemble d'objets « Flowsheet Elements » (courants de matière, d'énergie, d'opérations unitaires, de variables opératoires) qui constituent tout ou une partie du procédé simulé et qui utilisent la même base de données thermodynamique « Fluid Package ». Il possède un certain nombre d'entités particulières : un « Process Flow Diagram » (PFD), un « Workbook ».
- « Fluid Package » : il permet de définir les composants chimiques présents dans le procédé simulé et leurs affecte, les propriétés chimiques et physiques contenues dans la base de données des corps purs. Il permet aussi de définir les modèles thermodynamiques qui seront utilisés pour le calcul des propriétés des mélanges et de définir les cinétiques des réactions chimiques mises en jeu dans le procédé.
- « Process Flow Diagram » : ce diagramme permet de visualiser les courants et les opérations unitaires, représentées par des symboles dans le « Flowsheet », ainsi que la connectivité entre les courants, les opérations unitaires et les tableaux des propriétés des courants.
- « Workbook » : il permet d'avoir accès à l'information sur les courants et les opérations unitaires sous forme de tableau de données.
- « Desktop »: c'est l'espace principal de HYSYS pour visualiser les fenêtres lors de la conception. [35]
- « Property view » : il contient l'information décrivant un objet (opération ou courant)
- « Simulation Case » (fichier de simulation) : c'est l'ensemble des « Fluid Packages », « Flowsheets » et « Flowsheet Elements » qui constituent le modèle.  
Environnement de simulation

Il existe 5 environnements de développement pour manipuler et mettre en forme l'information dans le simulateur :

- Environnement « Basis Manager »: cet environnement permet de créer et modifier le « Fluid Package ».
- Environnement « Oil Characterization »: il est utilisé pour caractériser les fluides de type pétrolier.
- Environnement « Main Flowsheet »: il permet de définir la topologie du Flowsheet principal de la simulation. Il est utilisé pour placer et définir les différents courants, opérations unitaires et « Sub-Flowsheets » qui constituent le procédé simulé.

- Environnement « Sub-Flowsheet »: il permet de définir la topologie d'un sous ensemble particulier du schéma principal (un courant ou une opération particulière et des autres Sub-Flowsheets).
- Environnement « Column »: c'est un objet particulier permettant de définir la topologie de l'opération unitaire colonne à distiller. Il possède ses propres «Flowsheet», «Fluid Package», «PFD» et «Workbook».

### **III .4.6. Caractéristiques principales de HYSYS**

Cette partie décrit brièvement les caractéristiques importantes qui font de HYSYS une plateforme de simulation et de développement très puissant.

- (The Integrated Engineering Environment) : Toutes les applications nécessaires sont utilisées dans un environnement de simulation commun.
- Il intègre la possibilité d'une modélisation dans un état stable ou stationnaire et en régime dynamique.
- Programmation de HYSYS : HYSYS contient un Internal Macro Engine qui supporte la même syntaxe que Microsoft Visual Basic. On peut automatiser différentes tâches dans HYSYS sans avoir besoin d'un autre programme. [1]

Voici quelques caractéristiques de HYSYS sur la manière dont sont réalisés les calculs :

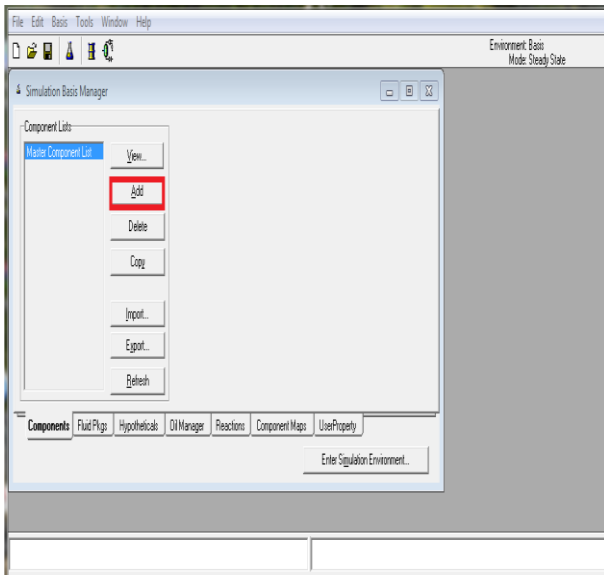
- Gestion des événements (Event Driven): HYSYS combine le calcul interactif (les calculs sont exécutés automatiquement chaque fois que l'on fournit une nouvelle information) avec un accès instantané à l'information (à tout moment on peut avoir accès à l'information depuis n'importe quel environnement de simulation).
- Gestion intelligente de l'information (Built-in Intelligence): Les calculs des propriétés thermodynamiques s'effectuent instantanément et automatiquement dès qu'une nouvelle information est disponible.
- Opérations Modulaires: Chaque courant ou unité d'opération peut réaliser tous les calculs nécessaires, en utilisant l'information soit indiquée dans l'opération ou communiquée depuis un courant. L'information est transmise dans les deux directions à travers les Flowsheets.
- Algorithme de résolution non séquentielle : on peut construire des Flowsheets dans n'importe quel ordre. [1]

III .4.7. Les étapes d'utilisation du logiciel HYSYS

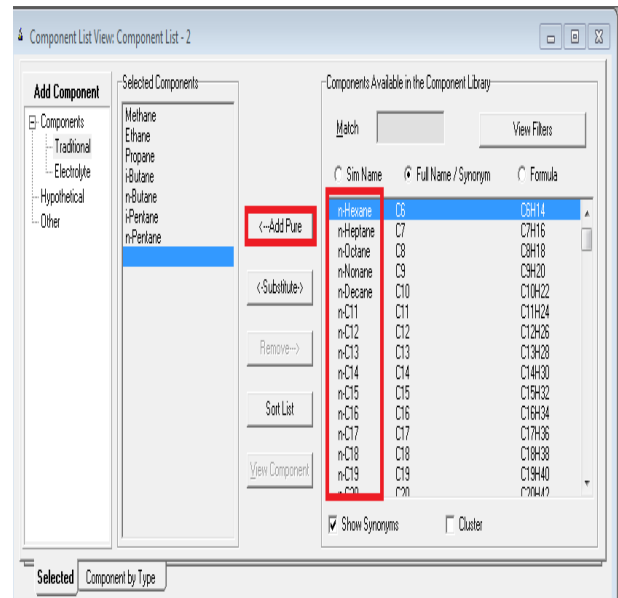
Pour réaliser une simulation en HYSYS, les pas suivants sont nécessaires :

1. Choix des composés ;
2. Sélection d'un modèle thermodynamique ;
3. Construction du PFD ;
4. Spécification des courants et des unités ;
5. Exécution du programme de simulation ;
6. Interprétation des résultats ; [32]

III.5 Création de la liste des constituants



(A)



(B)

Figure III.2. entrer la liste de composition.

Dans la page « Fluid Pkgs », l'utilisateur peut choisir entre les boutons à coucher suivants :

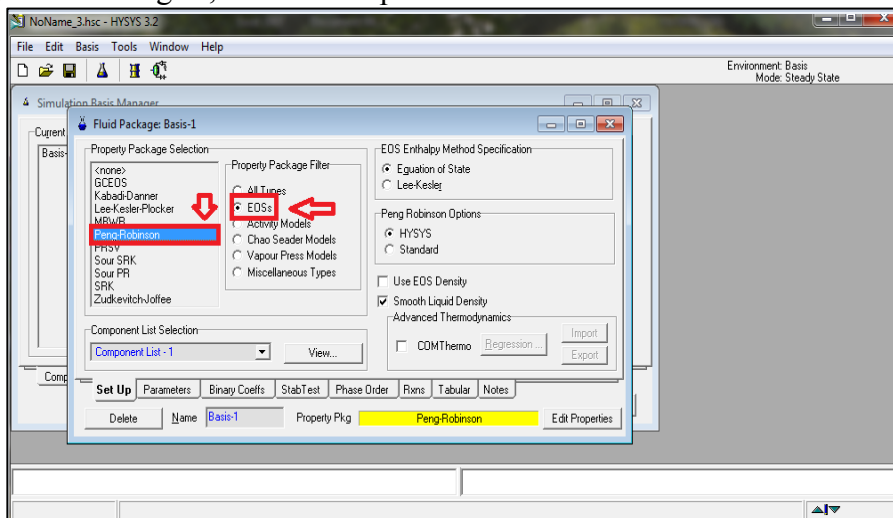


Figure III.3. choisir le fluide package.

Exemples de modèles basés sur une équation d'état :

PENG ROBINSON.

SOAVE REDLICH KWONG.

LEE KESLER PLOCKER.

KABADI DANNER.

### III .6. Les équipements utilisés

#### III .6.1. Mixeur

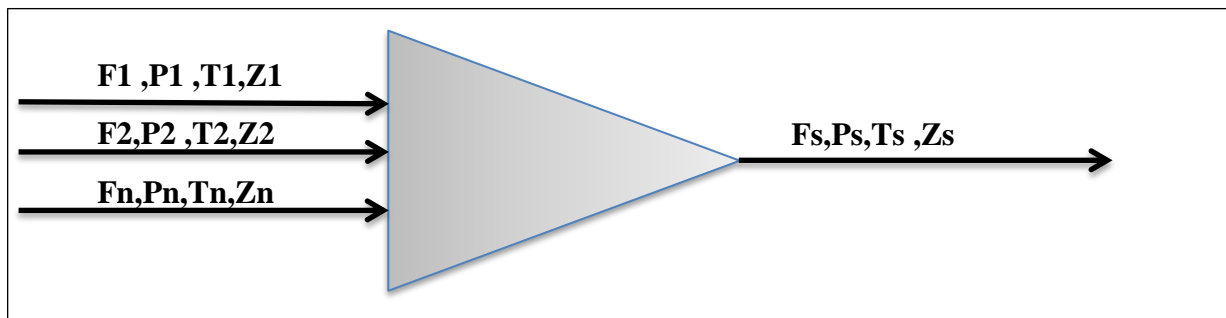


Figure III.4.a Représentation d'un mixeur

#### III .6.1.1. Installation d'un mixeur

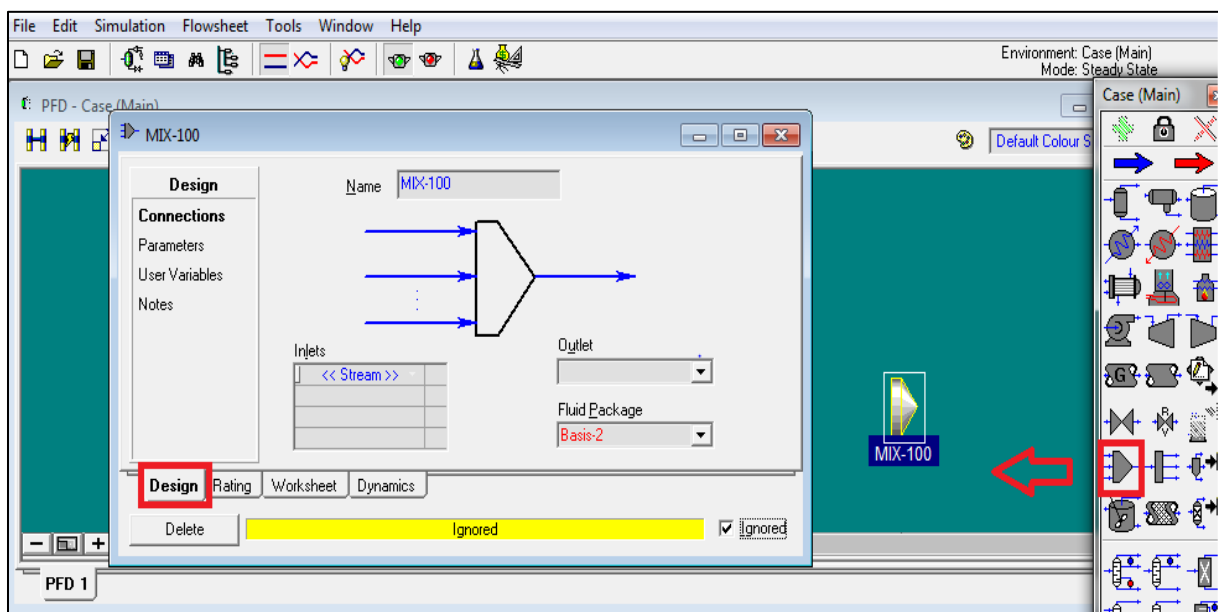


Figure III.4.b Installation d'un Mixer

III .6.2. Le compresseur

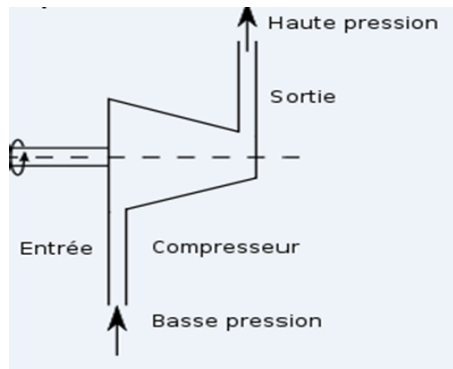


Figure III.5.a Présentation du procédé sous le logiciel

III .6.2.1. Installation d'un compresseur

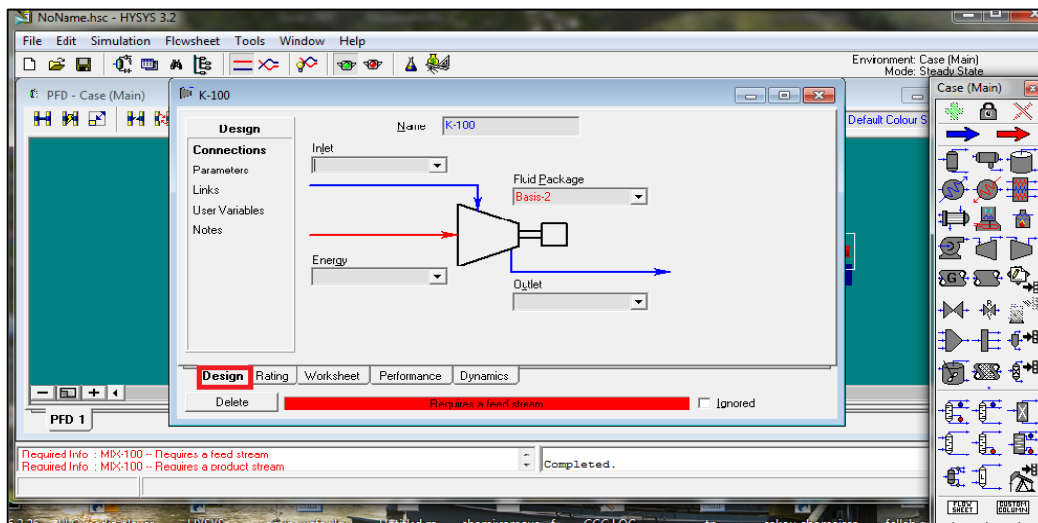


Figure III.5.b Installation de compresseur

III .6.3. La colonne de distillation

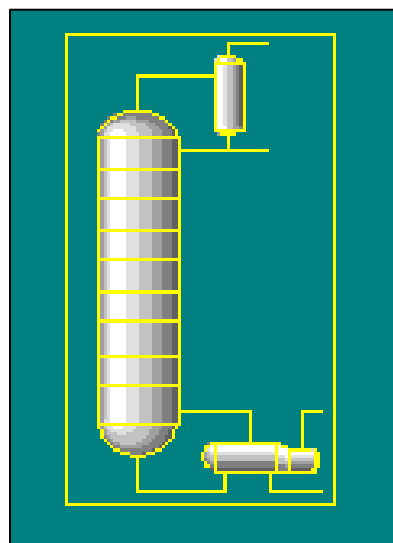


Figure III.6.a Représentation d'une colonne de distillation.

III .6.4. Installation de la colonne de distillation

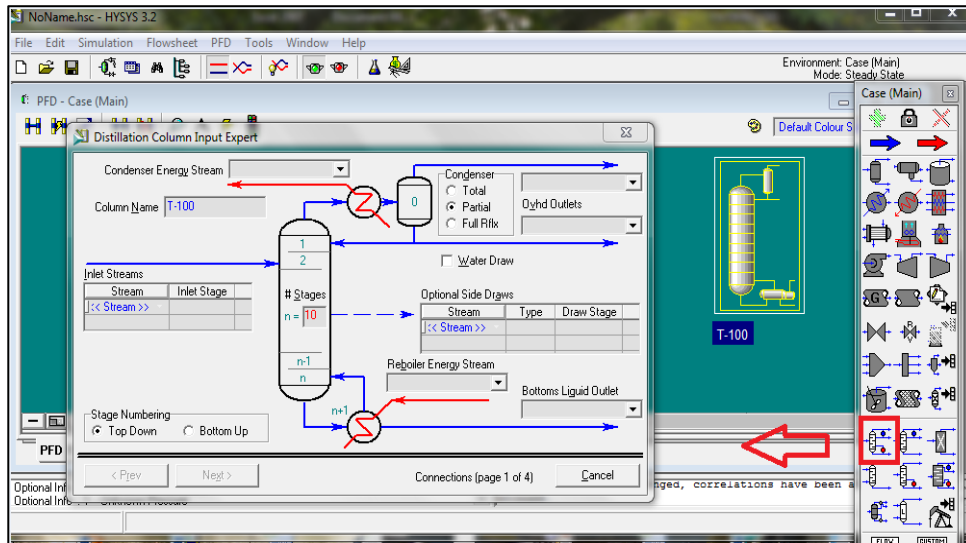


Figure III.6.b Installation de colonne de distillation .

III .6.5. Séparateur

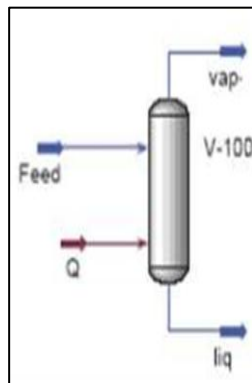


Figure III.7.a Représentation d'un séparateur

III .6.6. Installation du séparateur

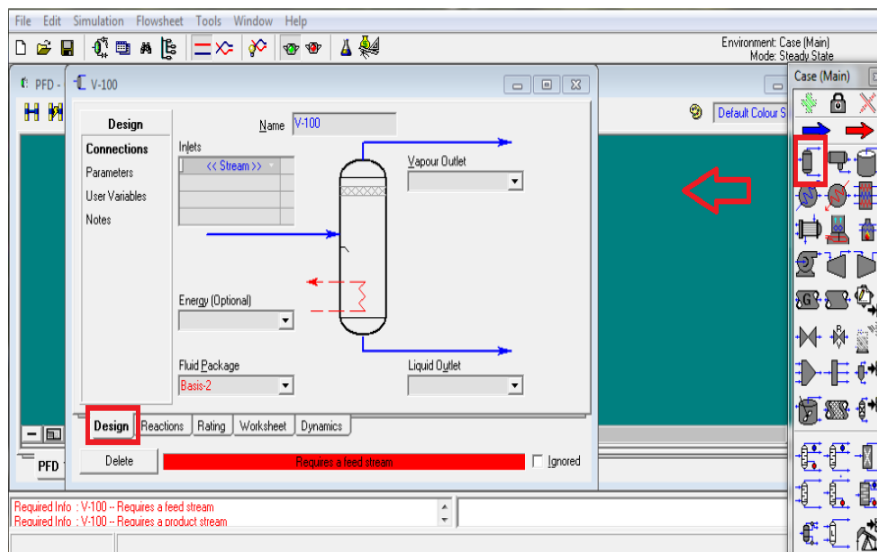


Figure III .7.b Installation du séparateur .

III .6.7. Les réacteurs

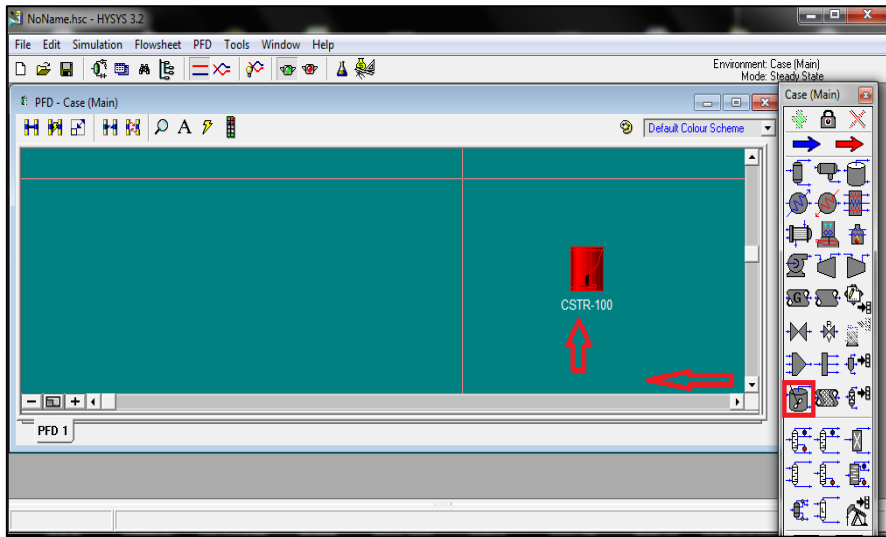


Figure III.8.a. The continuous stirred-tank reactor (CSTR-100).

III .6.8. Installation de réacteur (CSTR)

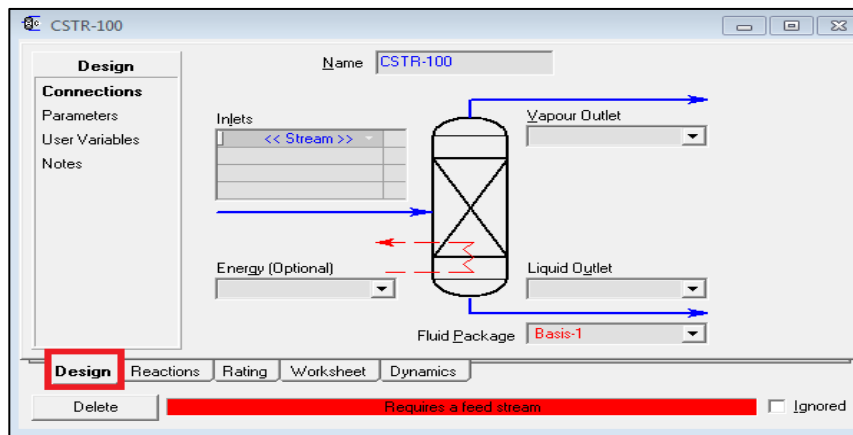


Figure III .8.b Installation du réacteur (CSTR).

III .6.9. Installation du général réacteur

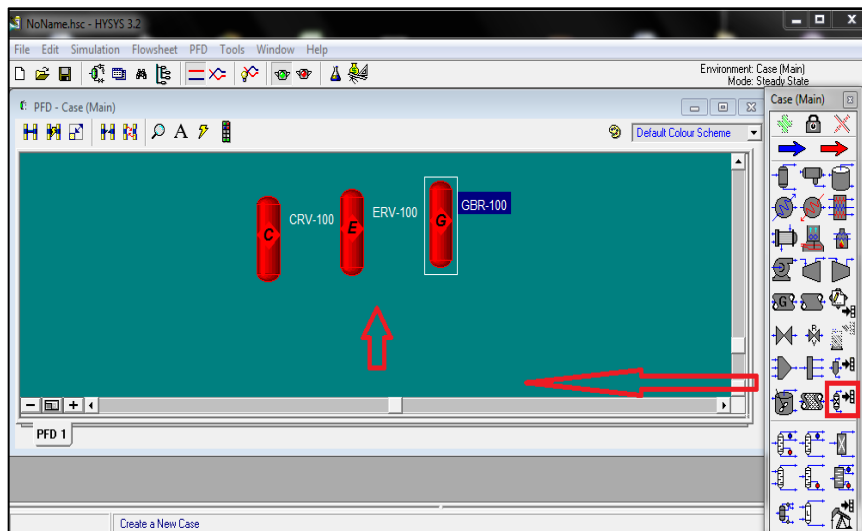


Figure III.9. Représentation d'un Général réacteur.

III .6.10. Installation d'un réacteur (ERV-100)

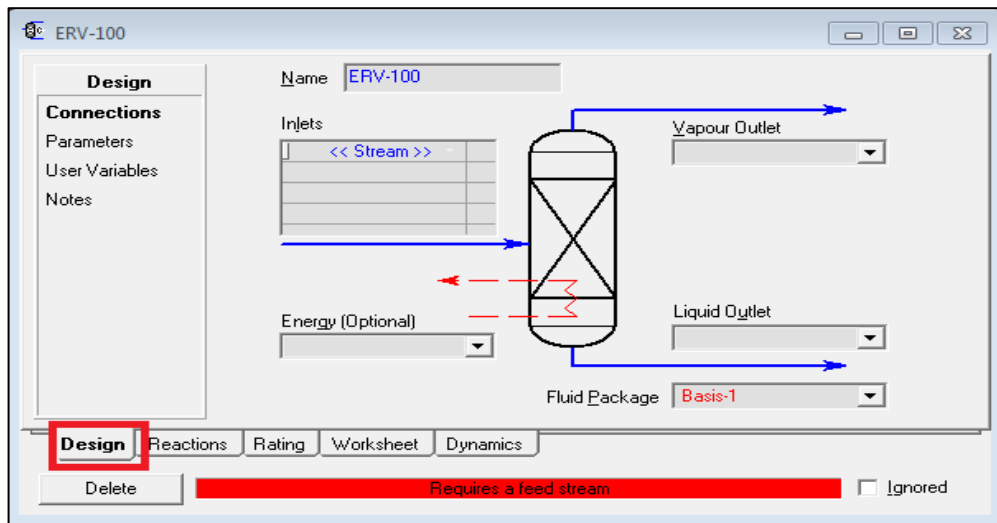


Figure III.10.a Installation du (ERV-100) .

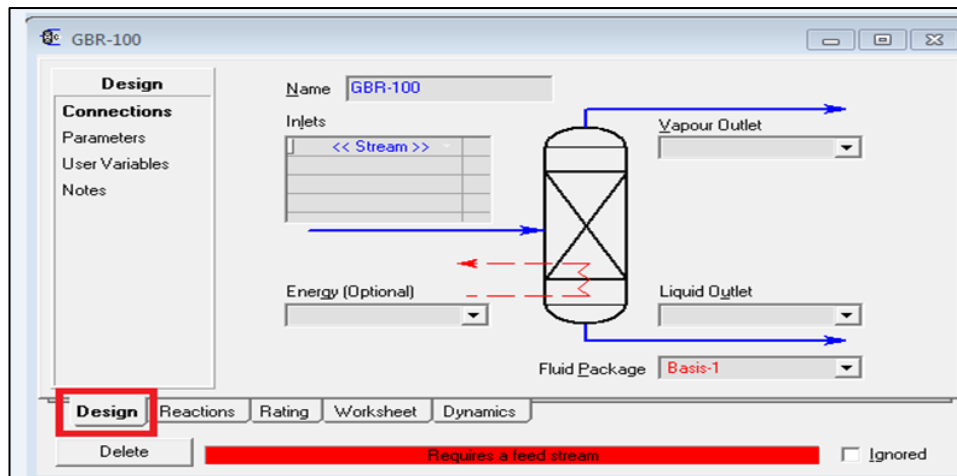


Figure III.10.b Installation (GBR-100) réacteur.



**III .7 Conclusion**

La simulations des processus sont le moyen le plus efficace de transmettre l'image de manière plus réaliste pour tout travail, y compris l'industrie pétrochimique, un simulateur (HYSYS) en régime permanent. Et c'est en utilisant programme de simulation par la maîtrise des concepts de base et des connaissances générales et bonnes. Pour structurer l'information et calculer des modèles de propriétés thermodynamiques, il est aisé de comprendre la structure qui repose sur la mise en œuvre d'opérations à l'aide d'un ordinateur.

# *Chapitre IV*

## *Simulation et résultats*

## IV.1 Introduction

Les coupes naphta lourds sont traités par craquage catalytique, qui provient de la colonne de distillation atmosphérique du pétrole brut et passés par une série de transformations physique et chimique pour séparer chaque composant et l'envoyer dans sa propre unité pour être valorisé.

Nous allons modéliser complètement ce traitement par le programme « ASPEN HYSYS » avec donner toutes les méthodes utilisées lors de la simulation qui basées sur la simulation de l'unité de craquage catalytique.

## IV. 2. La chaine du traitement de pétrole brut

Le pétrole est d'abord traité par distillation atmosphérique ce qui a permis d'obtenir des coupes (Gaz, Naphta, Kérosène, gazole et un résidu),qui dont à leur tour soumises à une distillation sous vide ,qui sépare le mélange lourd du distillation initiale en coupes sous vide afin de maximiser la production en carburant (coupe légère mélangée avec la charge de l'unité de craquage, une coupe moyenne dans l'intervalle du gazole).

Enfin toute cette procédure est utilisée pour expliquer la méthode de traitement de la coupe du naphta lourd par craquage catalytique avec une modélisation simple par « ASPEN HYSYS »

## IV. 3 Modélisation de l'unité de distillation primaire

Le première étape de la simulation consiste à installer (crudeoil ) ,qui sera séparé par la colonne et utilisé pour saisir les données nécessaires :

1. Composition du mélange (tirée par cette méthode dans cette fenêtre)

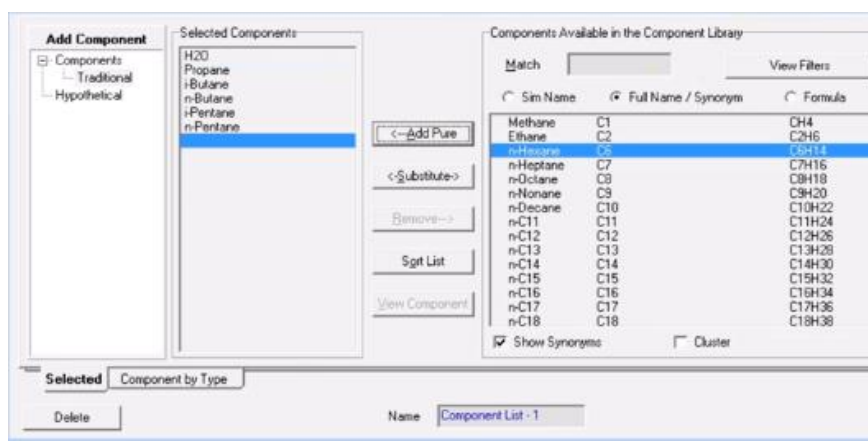


Figure IV.1. Entrer la liste de composition

2. « Fluide package » : on fait choisir le « Peng-Robinson »

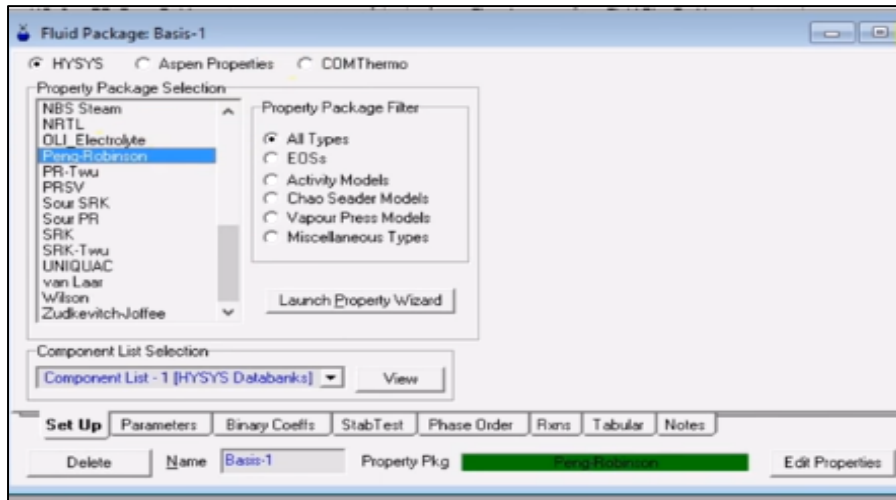


Figure IV. 2. Introduire le fluide package de système.

3. Ensuite, nous devons entrer les informations relatives à la distillation dans la fenêtre d'essai et le (Blend) de pétrole.

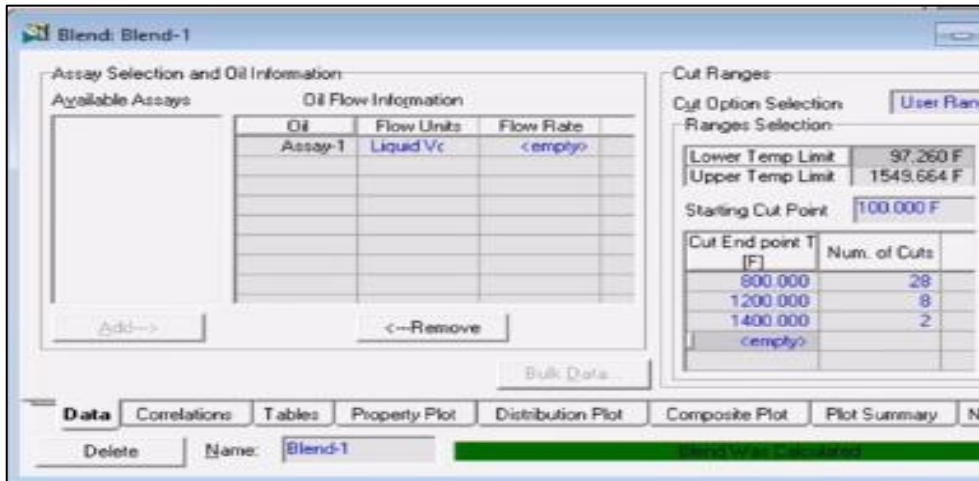


Figure IV. 3 Les données liées à la distillation « TBP assay »

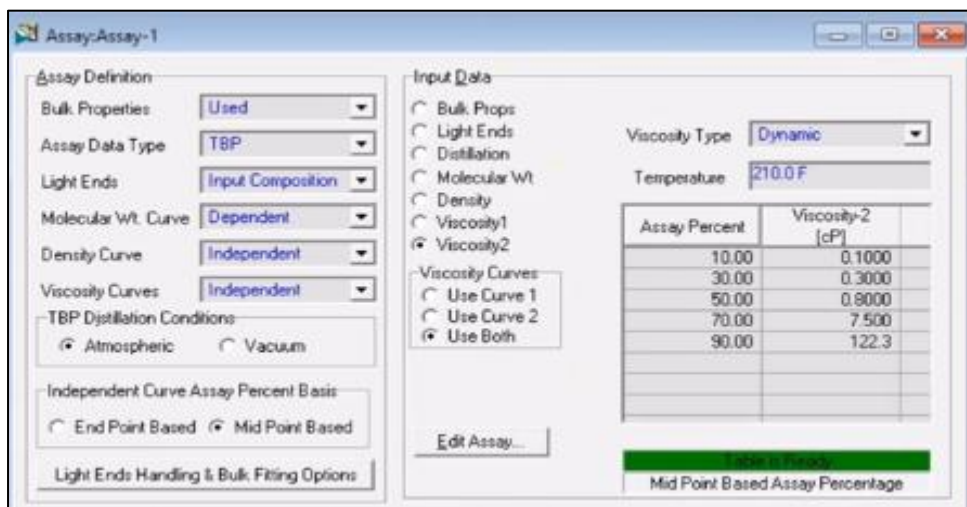
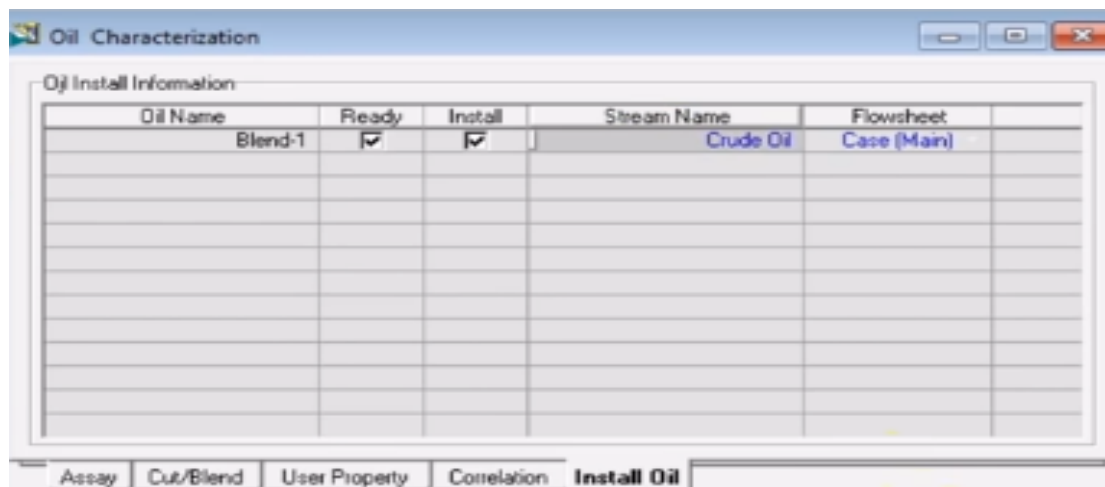


Figure IV.4. Les données liées à la distillation « OilBlend »

Alors nous devrions transférer toutes les données précédentes (crud oil) vers les informations actuelles sur le pétrole.

Avec cette méthode on est prête pour installer l'Oil dans la case de la simulation.

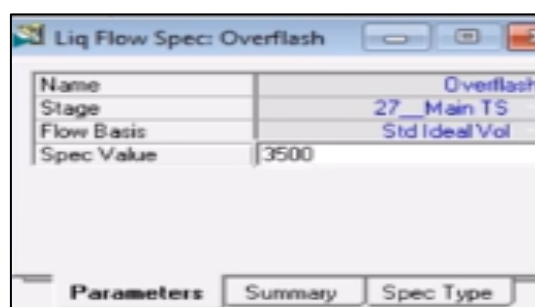


**Figure IV.5.** Installation de stream « Crud Oil »

#### 4. Over flash

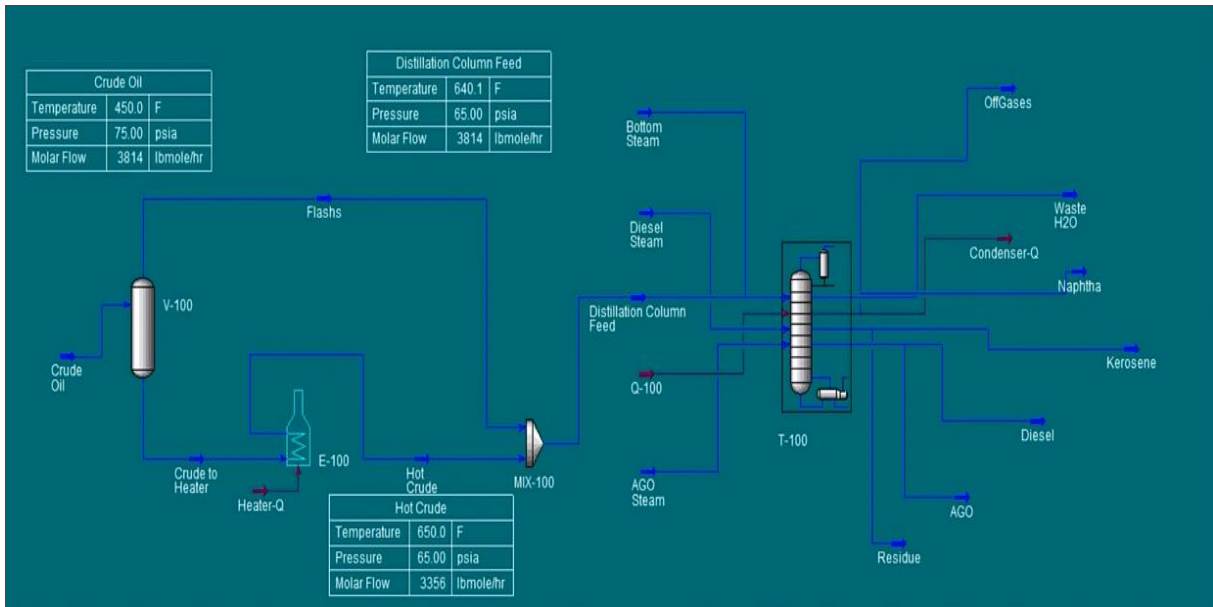
Généralement, lorsque le (crudeoil) entre dans la zone flash, 60% de son volume se vaporise et les 40% restants s'écoulent vers la section de stripping ensuite, 5% se vaporisent à niveau (à partir de ces 40%).

Cette vaporisation supplémentaire de 5% se condensera (au –dessus de la zone flash) et retournera à la section de stripping pour éviter tout entrainement de résidus sur ces 5% appelés.



**Figure IV.6.** Over flash.

Après avoir introduire toutes ces données nous pouvons entrer dans la simulation pour effectuer le traitement des équipements de distillation, en donnant toutes les informations pour chaque instrument, afin de fournir le schéma mentionné ci-dessus :

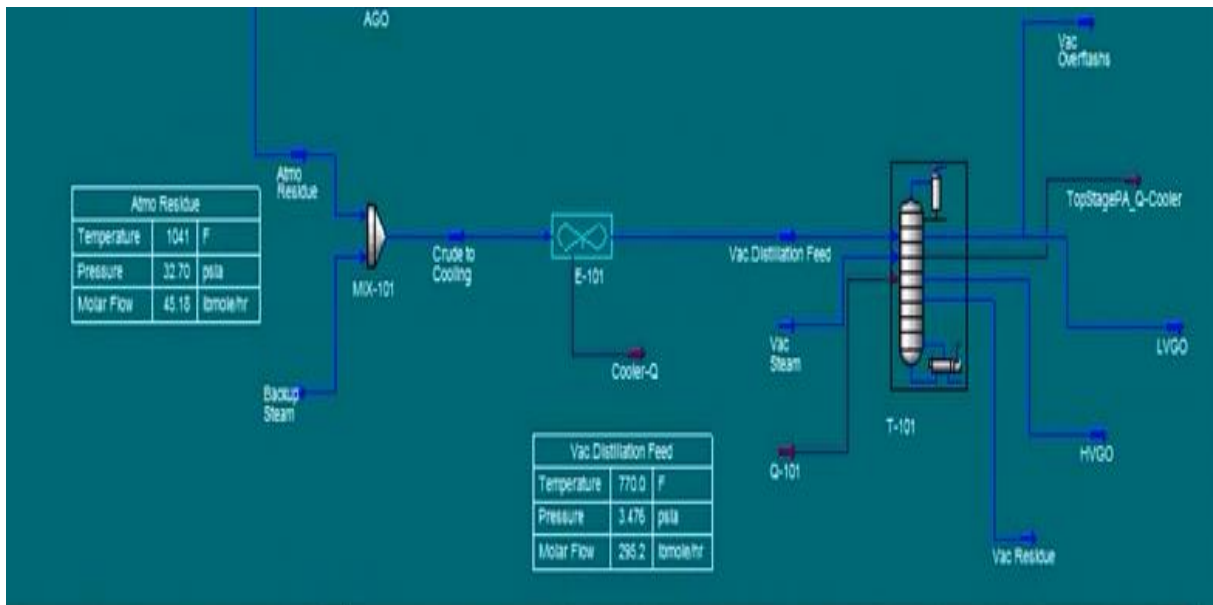


**Figure IV.7.** Résultat finale de la modélisation de l'unité de distillation atmosphérique.

#### IV. 4 Modélisation de la distillation secondaire (DSV)

Colonnes de distillation conçues pour fonctionner à une pression inférieure à la pression atmosphérique.

Nous en avons besoin pour extraire un produit plus précieux ou fractionner le résidu atmosphérique en produits précieux.



#### IV.5 Modélisation de l'unité de craquage catalytique (FCC)

Comme il a déjà mentionné dans le chapitre II, cette unité industrielle pour « craquer » la fraction de gazole lors de la distillation. La fissuration se fait au moyen d'un catalyseur qui se comporte comme un fluide lorsqu'il est aéré avec de la vapeur.

#### IV.6 Simulation de la section FCC

Les produits lourds tels que (HVGO) sont envoyés de (l'unité de distillation sous vide) à l'unité FCC pour entrer (par le bas où se trouve le Riser FCC)

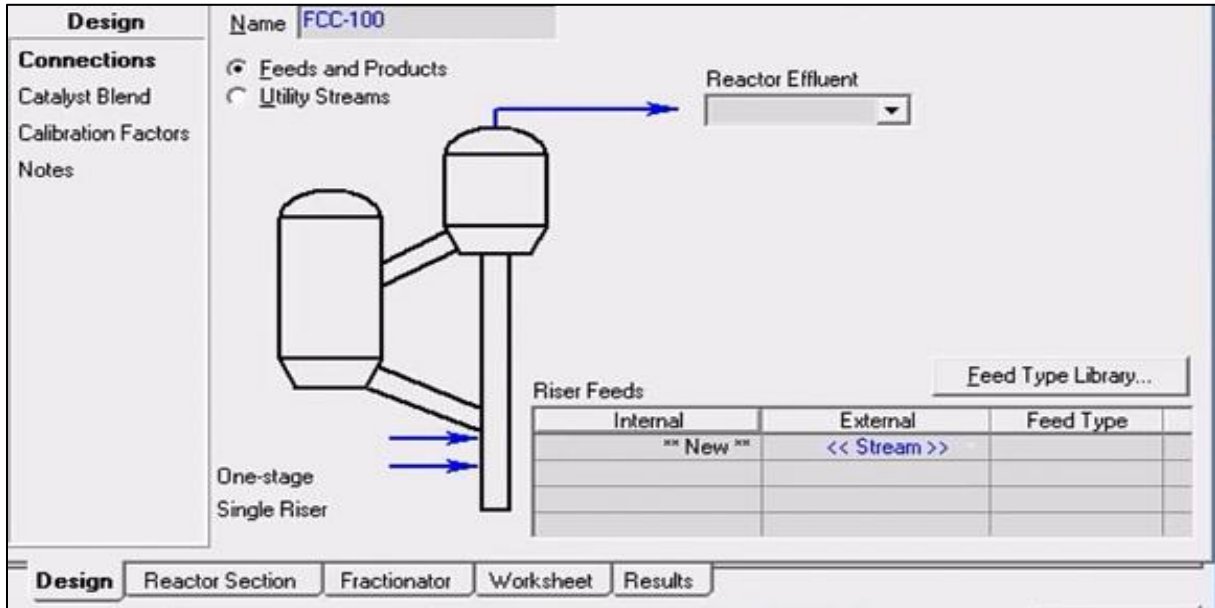


Figure IV.9. Paramètre de design FCC

Dans la section du réacteur FCC (Feed data) on donne les propriétés de chaque feed : (HVGO) et (Feed 1).

##### IV.6.1. La charge HVGO

TableauxIV.1. Propriété de la charge HVGO.

Feed Type	VacumGasOil
API Gravity	0,5

## IV.6.2. La charge Feed 1

**Tableaux IV.2.** Propriété de la charge feed 1.

Distillation type	D1160
Initial point (C)	269 C
5% Point (C)	358,6 C
10% Point (C)	376,4 C
30% Point (C)	419 C
50% Point (C)	452,3 C
70% Point (C)	488 C
90% Point (C)	541,8 C
95% Point (C)	567,9 C
End Point (C)	665,8 C

## IV.6.3. Pour le catalyseur

**Tableaux IV.3.** Donner de catalyseur. (composition du catalyseur )

Vandum [ppmwt]	5000
Nickel [ppmwt]	444
Sodium [ppmwt]	3103
Iron [ppmwt]	5553
Copper [ppmwt]	57

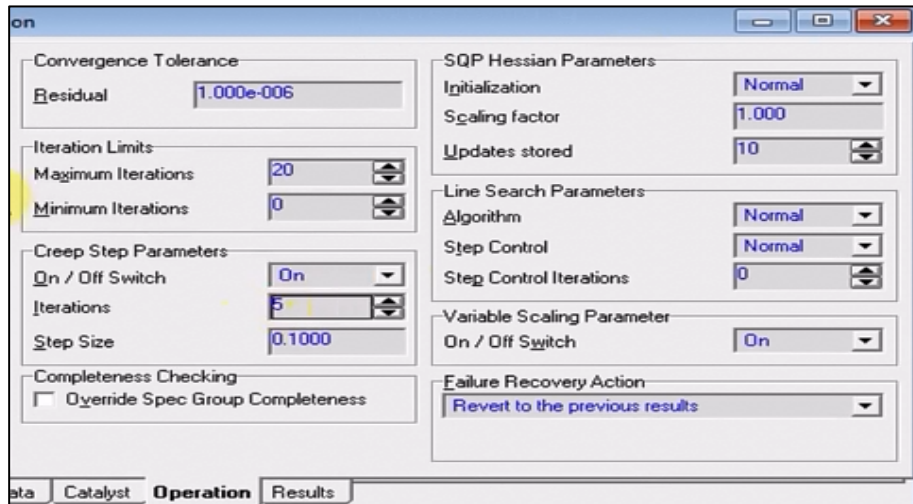
## IV.7. Configuration des opérations de la charge

**Tableaux IV.4.** Configuration des opérations de la charge

Feed	Volume Flow [barrel /day]	Mass Flow [lb/hr]	Temperature [C]	Presseur [Kpa]	Location
HVGO	21	286	462,8	7,264	Riser
Feed 1	17312,7	2,38655e+0,5	175	601,3	Riser

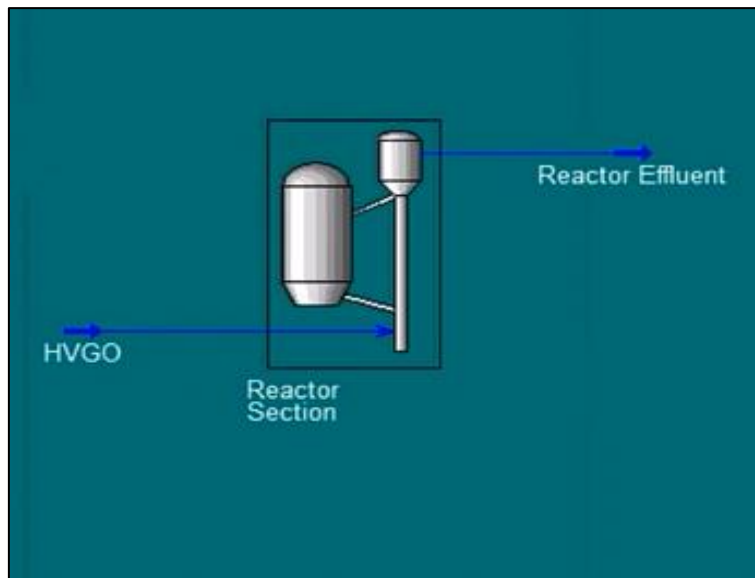
## IV.8. Spécification





**Figure IV.10.** Fenêtre des informations liées aux spécifications de convergence.

Après la convergence on aura un système catalytique il nous manque seulement d'introduire le « FCC Feed » afin de terminer la simulation de la section Craquing, on trouve un résultat comme ce dessus :



**Figure IV.11.** Fenêtre de la convergence de la section « Craquer » primaire.

#### IV.9. Spécifications de la convergence finale de l'unité

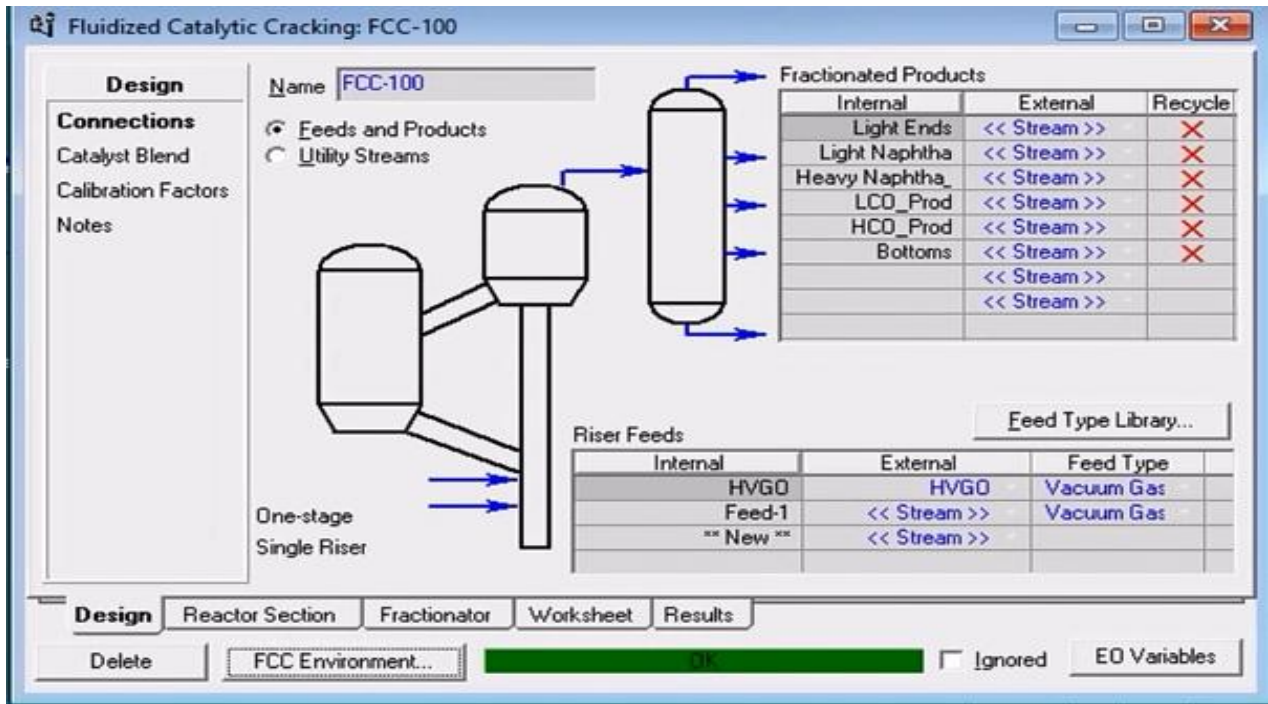


Figure IV.12. Spécifications de la charge entrée dans l'unité FCC.

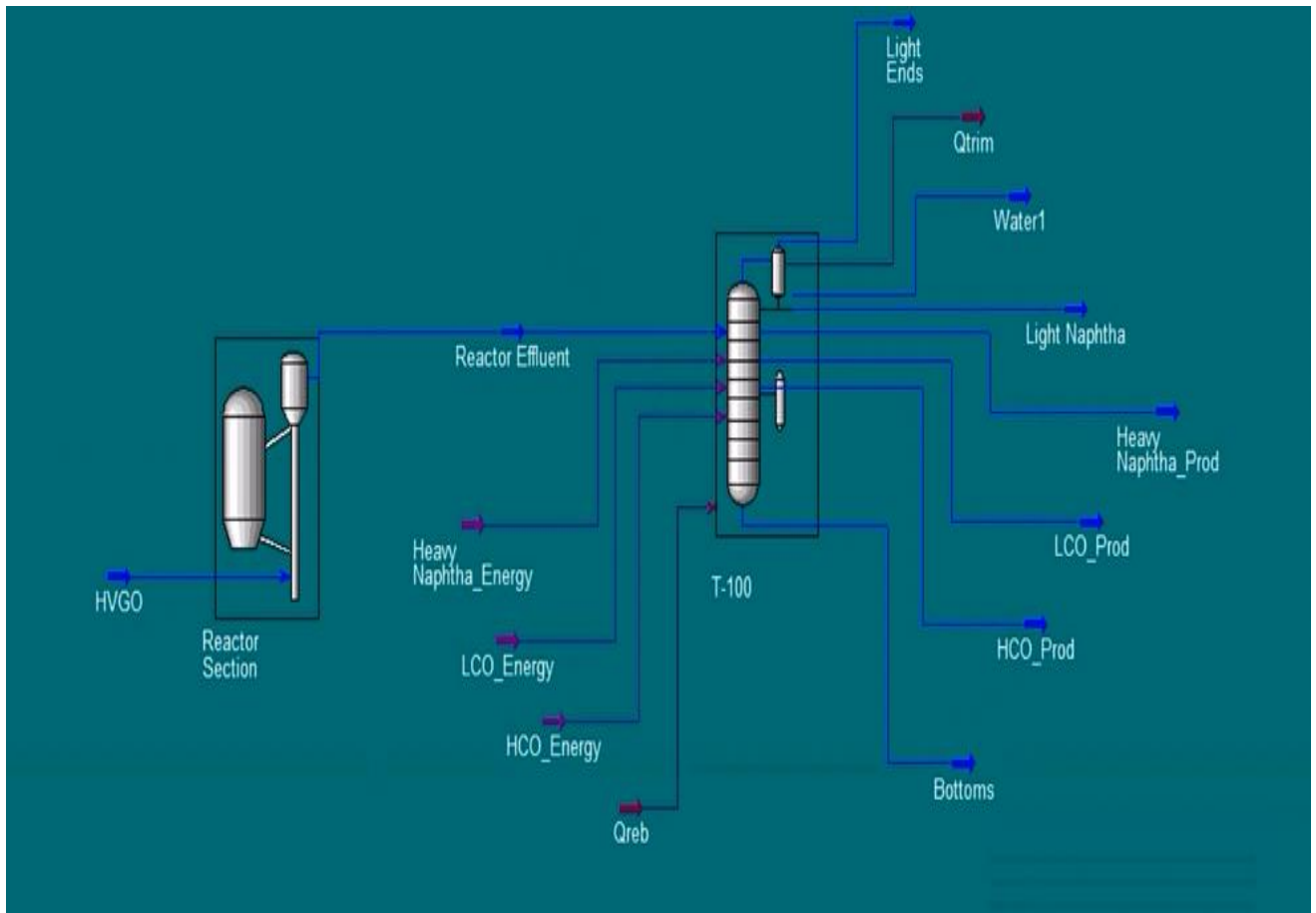


Figure IV.13. Schéma de l'unité de craquage catalytique par ASPEN HYSYS.

#### IV.10 Résultats de la simulation

The screenshot shows the 'Operation' window in Aspen HYSYS. The 'Feeds' section is expanded, showing a table of pressures for the reactor and regenerator. The 'Pressure Control' section is also visible, along with solver options and command fields. The bottom of the window shows a navigation bar with 'Design', 'Feed Data', 'Catalyst', 'Operation', and 'Results' tabs, and a status bar with 'OK', 'Ignored', and 'EO Variables' buttons.

Parameter	Value
Reactor Pressure [kPa]	300.1
Regenerator Pressure [kPa]	296.5
Regenerator - Reactor Pressure Difference [psi]	-0.5221
Regenerator - Riser Pressure Difference [psi]	3.090

Figure IV.14. Représente les pressions de réacteurs et régénérateur

The screenshot shows the 'Results' window in Aspen HYSYS, displaying 'Blend Properties at Selected Riser Location'. The 'Riser' location is selected. The table compares properties for 'HVGO' and 'Feed-1'. The 'Bulk Properties' section is expanded, showing various chemical and physical properties. The bottom of the window shows a navigation bar with 'Design', 'Reactor Section', 'Fractionator', 'Worksheet', and 'Results' tabs, and a status bar with 'Delete', 'FCC Environment...', 'OK', 'Ignored', and 'EO Variables' buttons.

Property	HVGO	Feed-1
<b>Bulk Properties</b>		
API gravity	30.35	22.74
Specific Gravity 60F/60F	0.8743	0.9174
Basic Nitrogen Content [ppmwt]	0.0000	804.0
Total Nitrogen Content [ppmwt]	0.0000	2412
Total/Basic Nitrogen Ratio		3.000
Sulfur Content [%]	0.00	0.56
Fraction of Feed S Processed	0.5000	0.5000
Conradson Carbon Residue [%]	0.00	1.86
Ramsbottom Carbon Residue [%]	0.06	1.44
RI @Specified T Meas.		
RI Meas. Temperature [C]		
RI @20C Calc. from Lab Data		
RI @20C Est. from Bulk Prop.	1.47575	1.51370
Ca Meas.		

Figure IV.15. Résultat de feed blend

Les résultats nous ont montré la capacité du logiciel Aspen HYSYS sont donnés des résultats assez proches de la réalité et à partir desquels on peut prendre des décisions dans un contexte de surveillance.

Dans toutes ses principales de simulation, ce travail a donné des résultats largement satisfaisants.

# *Conclusion générale*

## Conclusion Générale

---

### Conclusion générale

Le procédé de craquage catalytique est devenu l'un des plus importants procédés au sein d'une raffinerie moderne est souvent considéré comme étant le « cœur des raffineries » et joue un rôle économique primordial.

Le FCC est l'un des procédés les plus complexes dans une raffinerie. Ce procédé occupe une place très importante dans la rentabilité d'une raffinerie. Sa complexité et la nécessité de le faire fonctionner à la limite des contraintes opératoires font de lui un sujet d'intenses recherches tant sur le plan de la commande que de l'optimisation.

La première partie de notre travail (partie théorique) nous a permis de comprendre le procédé de craquage catalytique et les concepts liés à la simulation par programme « ASPAN HYSYS

La deuxième partie (la partie pratique) est consacrée pour la modélisation de l'unité de craquage catalytique avec la saisie des données issues de la raffinerie, ainsi qu'à l'amélioration des performances de cette unité.

La simulation a été testé, par comparaison à l'expérience réalisée. Les résultats obtenus sont encourageants.

Les résultats nous ont montré la capacité du logiciel Aspan Hysys sont donnés des résultats assez proches de la réalité et à partir desquels on peut prendre des décisions dans un contexte de surveillance.

# *Bibliographie*

## ***Bibliographie***

---

- [1] « Pierre Trambouze, Matériels et équipements, vol. 4, Paris, Technip, coll. “Le raffinage du pétrole”, 1999, 785 ».
- [2] A. Djebbari, « Simulation d’une unité de production de méthanol à l’aide de l’aspen plus-hysys ».
- [3] Ben kharfia Imene (2019/2020), contribution à l’étude de la biodégradation des hydrocarbures par processus de la phytoremédiation
- [4] Doudou Walid et Rouighirafik, (2015/2016), aperçu générale de la raffinerie d’Arzew. Rapport de stage cycle de fin d’étude master.
- [5] Edouard Freund ,1994, éditions, technip-paris, livre raffinage du pétrole.
- [6] Annick Virot, 1994, 3<sup>ème</sup> édition française.
- [7] Skoupy, A. et Ulrich, R., 1994: «Dispersal of chain lubrication oil in one-man chain-saws», Forsttechnische Information, vol. 11, pp. 121-123
- [8] fiche de sécurité du programme international sur la sécurité de la substance chimique consultée 2009
- [9] article 5 de l’Arrêté, 1999, relatif aux caractéristiques du supercarburant sans plomb.
- [10] J.P. Wauquier et autres, Le raffinage du Pétrole, tom 1 : Pétrole brut, Produits pétrolière, Schémas de fabrication, Edition Technip, Paris 1994, p.378.
- [11] Skoupy, A. et Ulrich, R., 1994: «Dispersal of Chain lubrication oil in one-man Chain-saws», Forsttechnische Information, vol. 11, pp. 121-123.
- [12] R.C.Hansford : «Physical chimistry of hydro carbons» vol II,PP230-231 Acadimic press I.N.C.N.Y,1953.
- [13] D. Decroocq, Le craquage catalytique des coupes lourdes. Editions TECHNIQUE, 1978.
- [14] « Moulay Omar, Najet, and Soumia AZARRIH. Vérification des paramètres de fonctionnement du réacteur, du régénérateur ».
- [15] « Mme Otmani S, Thèse de Magéstère"Valorisation des charges lourdes compoundées par le craquage catalytique», Université de M’HAMED BOUGARA Boumerdes ». (2005)
- [16] « Barbier, Y. (1978). Dictionnaire du pétrole. FeniXX. »
- [17] « catalytique ABDEKABIR, B. (2018). Les processus de traitement des produits finis et modes d’évacuation des rejets ».

## ***Bibliographie***

---

- [18] « Ribeiro, F. R., & Guisnet, M. (2012). Les zéolithes, un nanomonde au service de la catalyse : un nanomonde au service de ».
- [19] « Boum, A. T. (2014). Commande prédictive d'un craqueur catalytique à lit fluidisé avec estimation des paramètres clés Do ».
- [20] « DAOUD, K., de BAB EZZOUAR, M. U., OTMANINE, G., & UMBB, C. (2008). Mémoire de Magister. »
- [21] « Sabrina, M. Calcul d'un réacteur catalytique isotherme d'oxydation du SO<sub>2</sub> en SO<sub>3</sub> pour la production du H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Master's thesis ».
- [22] « Massembo Courcel, G. P. (2019). Modelisation et simulation par action anticipée rétroaction «Feedforward» avec intégratif ».
- [23] « Jean, B., DesRosiers, L., & Dionne, S. (2014). Comprendre le Québec rural. »
- [24] « Verdin, B. (2018). Etude d'électrodes grande surface d'électrolyseurs PEM : inhomogénéités de fonctionnement et intégratif ».
- [25] « Chinar, A. T., & Benbouzid, M. (2013). Préparation de la zéolithe à partir d'un kaolin local et sa caractérisation ».
- [26] F. DIRKSEN H-ARSHAW : « alumines et silico-alumines comme catalyseurs ou supports de catalyseur ». Information Chimie N°227, PP 93-97, Juin-Juillet 1992.
- [27] Anonyme : « craquage catalytique » I.F.P.
- [28] A. GORMAN, M, GRANO, V, V, FORNES & CO: «Interaction of zéolite alumine with matrix silico in catalytic cracking catalysis» Applied catalysis N°66, pp 45-57, (1990).
- [29] F. Pascal, « Modélisation de bioprocédés dans le cadre d'un simulateur de procédés chimiques : application à la simulation statique et dynamique d'un atelier de fermentation alcoolique », Institut National Polytechnique de Lorraine, 1992.
- [30] S. Gourmelon, « Méthodologie d'analyse et de rétro-conception pour l'amélioration énergétique des procédés industriels », 2015.
- [31] « 2018. الحاتمي, نسيم, & العبيد. Optimisation d'exploitation d'un échangeur de chaleur tubulaire dans le processus de système ».
- [32] « Alberto, Maneno Albertino et Muasse, Minrage Júnior Sebastião. Memoire De Fin D'études De Master Academique ».
- [33] « Lamara, H. Etude d'une unité de fabrication de produits fluorés (Master's thesis) »



## ***Bibliographie***

---

- [34] « Djouimaa, A. (2017). Réalisation et vérification de la performance thermique d'une tour à vent pour un rafraichissement ».
- [35] « Mohammed Seghir, O. (2015). Contribution à la Réduction de L'empreinte Carbone sur le Site de Traitement du Gaz de Gassi ».