

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE d'ADRAR
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES HYDROCARBURES ET ENERGIES RENOUVELABLES



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER EN GENIE CHIMIQUE**

Thème

**AMELIORATION DE L'INDICE D'OCTANE PAR REFORMAGE
CATALYTIQUE AU NIVEAU DE LA RAFFINERIE D'ADRAR RA1D**

Soutenu le : 26 Juin 2019

Présenté par

Mr BOUCHA Khaled

Mr OUSFIA Abderrezak

Encadreur : Mr KHELIFI Omar

MAB Univ d'Adrar

Membres de jury

Président : Mr MOULAY ALI Ali

MAA Univ d'Adrar

Examineur : Mr DEBAGHI Slimane

MAB Univ d'Adrar

Année Universitaire : 2018 / 2019

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو دراسة عمليات تحسين رقم الأوكتان في مصفاة تكرير البترول بولاية أدرار RA1D. هذه الأخيرة يلعب دورا هاما في إنتاج الغاز، البنزين والمازوت و هذا لتلبية احتياجات المنطقة الجنوبية الغربية من الجزائر (أدرار ، بشار ، تندوف وتمنراست). وحدة الإصلاح الحفاز (U202) هي قاعدة مصفاة أدرار ، التي تهتم بزيادة وتحسين نوعية البنزين بحيث يكون عدد الأوكتان فيه مرتفعاً (NO = 96). أعطى حساب التحقق من حجم المفاعلات الأربعة (الحجم، الارتفاع والمساحة السطحية للطبقة المحفزة) نتائج تتفق مع التصميم الذي يوضح حسن سير العمل في الوحدة. تم إجراء تحليل للبنزين الناتج عن وحدة الإصلاح بواسطة محرك CFR وأظهر أنّ هذا الأخير له رقم أوكتان يقدر بـ 95.4.

الكلمات المفتاحية : رقم الأوكتان ، الإصلاح الحفاز ، مصفاة تكرير البترول بأدرار ، محرك CFR.

Résumé

L'objectif de ce travail est d'étudier les procédés d'amélioration de l'indice d'octane au niveau de la raffinerie d'Adrar RA1D. Cette dernière joue un rôle important dans la production de gaz ; essence et diesel pour répondre aux besoins de la région sud-ouest de l'Algérie (Adrar, Béchar, Tindouf et Tamanrasset). L'unité de reformage catalytique (U202) est la base de la raffinerie d'Adrar, qui s'intéresse à augmenter et améliorer la qualité de l'essence pour avoir un indice d'octane élevé (NO=96). Le calcul de vérification de dimension des quatre (4) réacteurs (volume, hauteur et surface de la couche catalytique) a donné des résultats qui sont en accord au design ce qui montre le bon fonctionnement de l'unité. Une analyse de l'essence super a été effectuée par le moteur CFR et montre que ce dernier a un indice d'octane de 95,4.

Mots-clés: Indice d'octane, Reformage catalytique, Raffinerie d'Adrar, Moteur CFR.

Abstract:

The objective of this work is to study the processes for improving the octane number at the Adrar refinery RA1D. The latter plays an important role in the production of gas; petrol and diesel to meet the needs of the southwestern region of Algeria (Adrar, Bechar, Tindouf and Tamanrasset). The catalytic reforming unit (U202) is the base of the Adrar refinery, which is interested in increasing and improving the quality of gasoline to have a high octane number (NO=96). The size verification calculation of the four (4) reactors (volume, height and surface area of the catalytic layer) gave results that are in agreement with the design which shows the proper functioning of the unit. An analysis of the super gasoline was performed by the CFR engine and shows that the latter has an octane number of 95.4.

Keywords: Octane number, Catalytic reforming, Adrar refinery, CFR engine.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je dois remercier *ALLAH* le tout puissant qui m'a donné l'envie, la volonté, la force, le courage et la patience pour mener à terme ce travail.

Nous adressons tous nos sincères remerciements à notre encadreur Mr **Omar KHELIFI**, pour la confiance qu'il nous a témoignée en nous proposant ce sujet, comme nous lui exprime notre reconnaissance pour avoir dirigé ce travail, pour ses aides, pour ses bonnes orientations et ses bons conseils.

Nous tenons à remercier tout particulièrement Monsieur **Ali MOULAY ALI**, pour l'intérêt qu'il a porté d'accepté de juger et de présider le jury de la soutenance de ce mémoire. Nous tenons également à remercier Monsieur **Slimane DEBAGHI** qui a pris la peine d'examiner ce travail et nous l'assurant que ses critiques auront le plus grand intérêt de notre part et que leurs conseils seront suivis et pris en considération.

Nous ne pourrions terminer ces remerciements sans y associer nos familles et nos amis sans exception.

À

- Ma mère et mon père ;*
- Mes frères et mes sœurs ;*
- Ma femme ;*
- Mon encadreur ;*
- Mes collègues et mes amis sans exception.*

Je dédie ce modeste travail.

Khalef Boucha

À

- *Ma mère et mon père ;*
- *Mes frères et mes sœurs ;*
- *Mes collègues et mes amis sans exception.*

Je dédie ce modeste travail.

Ousfia Abderrezak

TABLE DES MATIERES

Liste des figures	i
Liste des tableaux	iii

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

CHAPITRE I DESCRIPTION DU PROCESS

I.1. Description de la société SONATRACH.....	3
I.2. Situation Géographique de la Raffinerie d'Adrar RA1D	3
I.3. Capacité de la production annuelle	4
I.4. Charge et produits.....	4
I.4.1. pétrole brut.....	4
I.4.2. Produits finis.....	4
I.4.3 Produits intermédiaires.....	5
I.5. Unités de production.....	5
I.5.1. Unité de traitement Topping CDU (U201)	5
I.5.2. Unité reforming catalytique CRU (U202)	6
I.5.3. Unité de craquage catalytique fluidifié RFCC (U203).....	7
I.6. Les utilités.....	8
I.6.1. Unité de traitement des eaux	8
I.6.2. Unité de production de vapeur	8
I.6.3. Unité de production d'énergie électrique	9
I.6.4. Unité de production d'air comprimé	9
I.6.5. Unité d'exploitation des eaux de refroidissement et eaux usées	10
I.7. Stockage des produits	10

CHAPITRE II REFORMAGE CATALYTIQUE

II.1. Principe du procédé de reformage catalytique.....	13
II.2. Les réactions élémentaires du reformage catalytique	14
II.2.1. Déshydrogénation des cyclanes en hydrocarbures aromatiques	15
II.2.2. Déshydrocyclisation des paraffines	16
II.2.3. Isomérisation des n-paraffines en isoparaffines et des alkylcyclopentanes en alkylcyclohexanes	16
II.2.4. Hydrocraquage	17
II.2.5. Formation de coke	17
II.3. Catalyseurs du reformage catalytique.....	17
II.3.1. La nature du catalyseur	17
II.3.2. Principe de bifonctionnalité	19
II.3.3. Catalyseur bifonctionnels	19
II.3.4. Préparation des catalyseurs.....	20

**CHAPITRE III
LES CATALYSEURS**

III.1. Définition	21
III.2. Principaux types de catalyseurs.....	22
III.2.1. Catalyseurs massiques	22
III.2.2. Catalyseurs supportés	22
III.2.3. Catalyseurs combinés	22
III.2.4. Catalyseurs homogène	22
III.3. Caractéristiques et propriétés du catalyseur	23
III.3.1. Caractéristiques catalytiques fondamentales	23
III.3.2. Caractéristiques intrinsèques	24
III.3.3. Caractéristiques non catalytiques	25
III.3.4. Propriétés physico-chimiques	25
III.4. Cycle catalytique	26
III.5. Causes de la désactivation des catalyseurs.....	28
III.5.1. Causes physiques	29
III.5.2. Empoisonnement par des impuretés	29
III.5.3. Empoisonnement par les réactifs ou par les produits de réaction	29
III.6. Les remèdes contre les différentes formes de désactivation	30
III.7. Régénération des catalyseurs	30
III.8. Etude d'exemple : Cas du lit fixe semi-régénératif (SR)	31

**CHAPITRE IV
CALCUL DE VERIFICATION ET MESURE DE L'INDICE D'OCTANE PAR MOTEUR CFR**

IV.1. Problème de l'indice d'octane des essences	33
IV.2. Calcul de vérification.....	36
IV.2.1. Dimensionnement des réacteurs	36
IV.2.2. Calcul du volume du catalyseur dans chaque réacteur	36
IV.2.3. Dimensions des réacteurs.....	37
IV.3. Moteur monocylindrique CFR	41
IV.4. Principe de la mesure	42
IV.5. Les valeurs relatives des Indice d'octane des hydrocarbures.....	43
IV.6. Réglage du moteur et mesure	44
IV.7. Calcul et contrôle du résultat	45
IV.8. Arrêt du moteur.....	46
IV.9. Conditions opératoires du moteur CFR.....	47
Conclusion générale	48
Références bibliographiques	
Annexes	

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I
DESCRIPTION DU PROCESS

Figure I.1 : Colonne de distillation atmosphérique.....	06
Figure I.2 : Section réactionnel de l'unité de reformage catalytique	07
Figure I.3 : Section réaction-régénération.....	07
Figure I.4 : Section de refroidissement de l'eau.	10
Figure I.5 : Section des bacs de stockage.....	11

CHAPITRE II
REFORMAGE CATALYTIQUE

Figure II.1 : Principe de reformage catalytique.....	13
Figure II.2 : Schéma du reformage catalytique.....	15
Figure II.3 : Déshydrogénation du cyclohexane en benzène.....	15
Figure II.4 : Déshydrocyclisation des paraffines.....	16
Figure II.5 : Isomérisation des n-paraffines en isoparaffines.....	16

CHAPITRE III
LES CATALYSEURS

Figure III.1 : Schéma simplifié sur le rôle d'un catalyseur.....	21
Figure III.2 : Le cycle catalytique	28
Figure III.3 : Schéma du procédé semi-régénératif.....	32

CHAPITRE IV
CALCUL DE VERIFICATION ET MESURE DE L'INDICE D'OCTANE PAR MOTEUR CFR

Figure IV.1 : Le principe du cycle d'un moteur à quatre temps et l'évolution de pression dans la chambre de combustion.....	34
Figure IV.2 : Schéma de principe de fonctionnement d'un moteur.....	35
Figure IV.3 : comparaison entre essence normal et essence super	35
Figure IV.4 : Schéma de principe d'un moteur monocylindrique(CFR)	42
Figure IV.5 : Moteur monocylindrique(CFR).....	45

LISTE DES TABLEAUX**CHAPITRE I
DESCRIPTION DU PROCESS**

Tableau I.1 : Capacité de la production annuelle de la raffinerie d'Adrar. 4

**CHAPITRE II
REFORMAGE CATALYTIQUE**

Tableau II.1 : Caractéristiques des deux charges typiques..... 14
Tableau II.2 : Principales caractéristiques des catalyseurs Pt/Al₂O₃..... 18

**CHAPITRE III
LES CATALYSEURS**

Tableau III.1 : Propriétés catalytiques fondamentales .. 23

**CHAPITRE IV
CALCUL DE VERIFICATION ET MESURE DE L'INDICE D'OCTANE PAR MOTEUR CFR**

Tableau IV.1 : : Pourcentage du catalyseur dans chaque réacteur 36
Tableau IV.2 : Diamètre réel des réacteurs..... 37
Tableau IV.3 : Résultats du calcul..... 41
Tableau IV.4 : Les valeurs relatives des indices d'octane des différentes familles d'hydrocarbures.
..... 44
Tableau IV.5 : Résultats donnés par le moteur CFR. 45

Liste des abréviations

RON	Indice d'octane recherche
MON	Indice d'octane moteur (mesuré)
IO Ref	Indice d'octane du carburant de référence le plus faible
Moy .E	Moyenne des lectures du knockmeter pour l'échantillon
Moy. Ref1	Moyenne des lectures du knockmeter pour le carburant de référence le plus faible.
Moy. Ref2	Moyenne des lectures du knockmeter pour le carburant de référence le plus fort (96)
CFR	Moteur d'essai monocylindrique
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
RFCC	Craquage catalytique de résidu atmosphérique

INTRODUCTION GENERALE

L'énergie occupe une place prépondérante dans la vie de l'être humain. Les sciences et les progrès techniques ont permis à l'homme de découvrir des nouvelles ressources énergétiques, à savoir tous les produits à vocation énergétique dont nous citons le pétrole et le gaz naturel, qui sont les seuls capables de répondre à l'accroissement des besoins en énergie. Le pétrole, qui est un mélange de différents produits hydrocarbonés, pour être utilisable dans les différentes branches de l'industrie et des moteurs à combustion, doit subir une série de traitements divers.

Le brut sorti du puits ne peut être utilisé tel quel, car c'est un mélange assez complexe de toutes sortes de constituants hydrocarbonés. Il est indispensable d'utiliser différents processus de traitement et de transformation afin de tirer le maximum de produits à haute valeur commerciale. L'ensemble de ces transformations constitue le raffinage du pétrole.

A la fin des années soixante, le raffinage du pétrole a subi des transformations importantes et une évolution très rapide liée à l'accroissement continu des besoins en produits légers au détriment des produits lourds.

Une raffinerie doit répondre aux objectifs suivants :

- ✚ Améliorer les qualités de certaines coupes pétrolières à savoir l'indice d'octane des essences et la teneur en soufre des produits intermédiaires.
- ✚ Modifier les rendements des différentes coupes pétrolières obtenues à partir des bruts traités afin de produire les quantités de produits commerciaux exigées par le marché.

Dans un moteur à combustion interne, le cliquetis est une combustion anormale entraînant une résonance de l'explosion sur les parois de la chambre de combustion et du piston. Ces résonances peuvent être décelées à bas régime par une oreille experte. Il s'agit d'un bruit métallique bien connu des motoristes. L'indice d'octane est considéré parmi les principales causes de présence des cliquetis, cela est dû à cause de présence de des composés naphthéniques.

Le reformage catalytique a pour objectif de transformer les constituants naphthéniques (à bas indice d'octane) en constituants aromatiques à haut indice d'octane servant de base au mélange des essences. Le reforming catalytique constitue le trait dominant de ce développement et figure parmi les premiers procédés utilisés à grande échelle dans cette industrie car il constitue le procédé essentiel utilisé pour obtenir l'essence lourde à indice d'octane élevé avec catalyseur multifonctionnel.

Par ailleurs, le reformage catalytique peut aussi être une source d'hydrocarbures aromatiques pour la pétrochimie. Enfin, l'hydrogène produit parallèlement, est utilisé dans la raffinerie pour répondre à l'accroissement des besoins des unités d'hydrotraitement, lié à l'effort de valorisation des fractions lourdes.

Ce mémoire est organisé en trois (4) chapitres :

Dans le premier chapitre, nous donnons une présentation générale sur la raffinerie d'Adrar ainsi que la description du process.

Le second chapitre est consacré aux notions générales sur le reformage catalytiques (principe, différents réactions de reformage catalytiques et les différents catalyseurs utilisés dans le reformage catalytique).

Le troisième chapitre de ce mémoire est destiné aux informations générales sur les catalyseurs (définition, différents types, caractéristiques et propriétés, causes de désactivation et les remèdes de désactivation du catalyseur).

Le quatrième chapitre est destiné au calcul de vérification de dimensionnement des quatre réacteurs de l'unité de reformage catalytique au niveau de la raffinerie d'Adrar ainsi la mesure de l'indice d'octane de l'essence produit par cette unité.

La conclusion générale clôture ce mémoire dans laquelle nous présentons les principaux résultats de ce travail.

CHAPITRE I

DESCRIPTION DU PROCESS

I.1. Description de la société SONATRACH:

SONATRACH est une société fondée en 1963 qui ouvre principalement dans l'exploration, le produit, le transport, le traitement et la commercialisation des produits pétroliers liquides et gazeux. Elle est la première entreprise du continent africain. Elle est 12^{ème} parmi les compagnies pétrolières mondiales. Sa production globale (tous produit confondus) est d'environ 160 millions de tep (Tonnes Equivalent Pétrole) en 2015. La société SONATRACH cumule une longue expérience dans le raffinage du pétrole depuis plus de 50 ans. Pour la maîtrise des installations, la SONATRACH bénéficie du retour d'expérience de ses 50 ans d'exploitation et de la maintenance d'installations d'hydrocarbures, ainsi que de l'expérience acquise sur les sites de raffinage de pétrole et de compétence de ses équipes techniques, qu'elle peut diligenter à tout moment en cas de nécessité.

I.2. Situation Géographique de la Raffinerie d'Adrar RA1D:

SORALCHIN raffinerie est construite dans la zone industrielle d'Adrar. Le site de la raffinerie est sur la partie orientale de la ville qui est Sbaa au nord d'Adrar. Le site de la raffinerie est d'environ 1400 km d'Alger, à environ 44 kilomètres de la ville Adrar, et à environ 2 kilomètres de Sbaa Ville. Il est situé dans l'arrière-pays de désert du Sahara. Toutefois, cette abondance est une zone dans les eaux souterraines. La raffinerie occupée une superficie totale de 75 hectares et elle est constituée principalement de:

- Unités de production;
- Unité de séparation des GPL;
- Une salle de contrôle principale;
- Des bacs de stockage de produit pétroliers;
- Unités des utilités avec ses auxiliaires;
- Des bâtiments (technique et laboratoire, administratif, un atelier de maintenance, station de brigade anti-incendie...):

L'alimentation en pétrole brut se fait à partir des gisements du bassin de Touat à travers une pipe de 08 pouces. La raffinerie est principalement alimentée en gaz par les différentes unités de production (autonome), plus un appoint du gaz naturel à partir de la station de SONATRACH de Sbaa par une pipe de 04 pouces.

I.3. Capacité de la production annuelle:

La capacité annuelle de traitement de la raffinerie de Sbaa est de 600 000 Tonnes environ de pétrole brut pendant une période de 330 jours en continu par jour de vingt quatre (24) heures. Le brut aspiré à partir des bacs de stockage, l'usine s'exploite et le produise sous divers forme et de qualité comme il est mentionné dans le tableau si-dissous.

Tableau I.1: Capacité de la production annuelle de la raffinerie d'Adrar.

Quantités (Tonnes/An)	Produits
20 500	Propane
32 500	Butane
10 000	Essence super
208 300	Essence normal
30 000	Kerosene (Jet A1)
238 400	Gas oil
13 000	Fuel oil

I.4. Charge et produits :

I.4.1. pétrole brut:

Le pétrole brut est stocké dans trois (03 bacs a toit flottant, chacun une capacité nominale de 6000 m³ correspondant a une autonomie d'exploitation de sept (07) jours environ, ces bacs sont équipés de toutes les accessoires et system de régulation, de commande et de sécurité. La capacité nominale de traitement est de douze mille cinq cent (12 500) barils/ jour de pétrole brut provenant des gisements situés dans la cuvette de Sbaa, Hassi Ilatou;Dechiera,Otra.

I.4.2. Produits finis:

➤ **Essence :** Les essences sont stockes dans six 06 bacs de stockage d'une capacité de 3000 m³, l'essence 96 super provienne de l'unité reforming catalytique est stocke dans 02 bacs dune capacité de 500 m³ pour chacun, et l'essence 89 normal est proviens de l'unité RFCC est stoker dans quatre 04 bacs d'une capacité de 3000 m³ pour chacun correspondant a une autonome d'exploitation de la raffinerie de 15 jours.

- **Gasoil :** Le gasoil est stocké dans quatre (04) bacs de stockage à toit fixe d'une capacité unitaire de 4000 m³ chacun correspondant à une autonomie d'exploitation de la raffinerie de 15 jours.
- **Kérosène JET A:** Le JET A1 est stocké dans deux (04) bacs de stockage à toit fixe d'une capacité unitaire de 500 m³ chacun correspondant à une autonomie d'exploitation de la raffinerie de (15) jours.
- **Propane:** Le propane est stocké dans deux (02) sphères de stockage de capacité unitaire 1000 m³ chacun correspondant à une autonomie d'exploitation de la raffinerie de 15 jours.
- **Butane:** Le butane est stocké dans deux (03) sphères de stockage de capacité unitaire 1000 m³ chacun correspondant à une autonomie d'exploitation de la raffinerie de 15 jours.
- **Fuel oil :** Le fuel oil issu de la RFCC est stocké dans 04 bacs de stockage d'une capacité de 300m³ (destiné pour l'alimentation des chaudières).

I.4.3 Produits intermédiaires:

- **BRA (Résidu fond de colonne Topping):** Le BRA issue de l'unité de distillation CDU et qui sert comme une charge pour l'unité RFCC est stocké dans trois (03) bacs de stockage à toit fixe d'une capacité unitaire de 3000 m³ pour chacun correspondant à une autonomie d'exploitation de la raffinerie de 15 jours.
- **Naphta :** Le naphta est stocké dans 04 bacs à toit fixe d'une capacité de 1000m³ pour chacun correspondant à une autonomie d'exploitation de la raffinerie de 15 jours. (Pour plus de détail voir schémas de processus des bacs de produit).

I.5. Unités de production:

La raffinerie renferme trois unités de production :

I.5.1. Unité de traitement Topping CDU (U201):

L'unité principale de distillation atmosphérique (U201), est constituée des sections suivantes: section de distillation atmosphérique; section de stabilisation de naphta; section de séparation des GPL et séchage de butane; section de purification/traitement du kérosène pour la production du JetA1. Cette unité est conçue pour traiter 600 000 tonnes de brut par an (sa capacité limite est de 700 000 tonnes / an tandis que sa capacité minimale est de 420 000 tonnes/an).

Principales spécifications du brut traité : Densité à 20°C = 0,834 g/l, teneur en NaCl : 8 mg/l, teneur en soufre : 0,14 %, acidité : 0.04 mg KOH/g. Au vu de ces spécifications, le brut traité est classé comme étant un brut aromatique à faible teneur en soufre. Le procédé est principalement composé d'un circuit de préfractionnement, d'une colonne atmosphérique, conçue pour séparer le pétrole en naphta, gasoil léger/hourd et BRA. Ces produits sont acheminés vers:

Naphta léger : vers la section de stabilisation de naphta.

Naphta lourd : vers le stockage.

Kérosène: vers l'unité de traitement et de purification du kérosène.

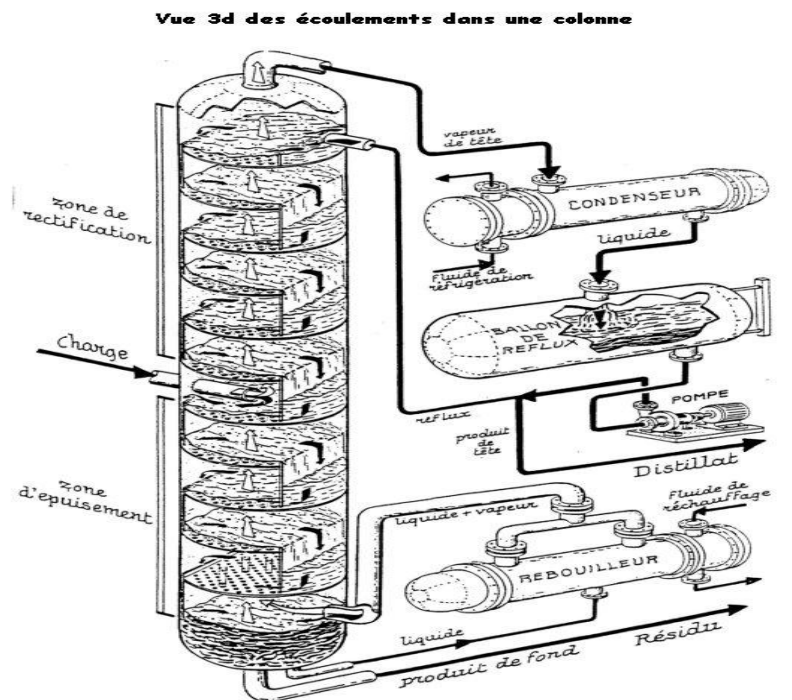


Figure I.1 : Colonne de distillation atmosphérique.

I.5.2. Unité reforming catalytique CRU (U202):

L'unité reforming catalytique est conçue pour traiter la charge naphta produite par l'unité distillation atmosphérique. Les produits de cette unité sont essentiellement:

- Carburant sans plomb à haut indice d'octane : NO=96 dénommé couramment : super sans plomb,
- Gaz pétroliers liquéfié (GPL),
- Naphta léger (light naphta),
- Naphta raffiné (refined oil) : fond colonne d'évaporation,
- Gaz incondensables (combustible pour fours de l'unité) et de l'hydrogène (pour réactions du process).

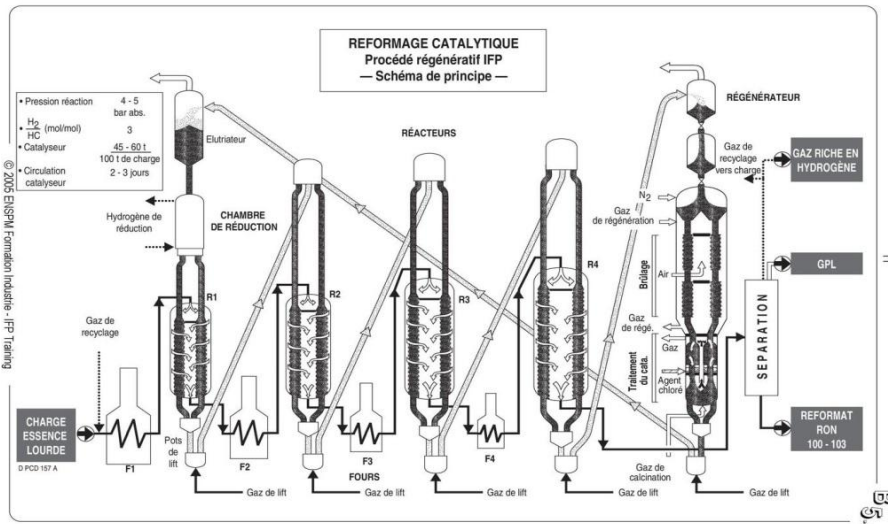


Figure I.2 : Section réactionnel de l'unité de reformage catalytique

I.5.3. Unité de craquage catalytique fluidifié RFCC (U203):

L'unité craquage catalytique est la 3^{ème} unité de production de la raffinerie. Elle traite le résidu atmosphérique, sa capacité est de 300 000 tonnes par an, ses produits sont :

- Essence normale d'indice d'octane compris entre 89 et 90,
- Gasoil appelé couramment LCO caractérisé par son faible indice de cétane,
- Coupe lourde plus dense que le gasoil et appelée couramment HCO,
- Slurry qui est le résidu lourd des produits du craquage catalytique utilisé comme fioul,
- GPL et les gaz incondensables

L'unité de RFCC renferme plusieurs sections dont deux (02) sections principales, elles sont schématisées comme indiqué dans les deux figures suivantes.

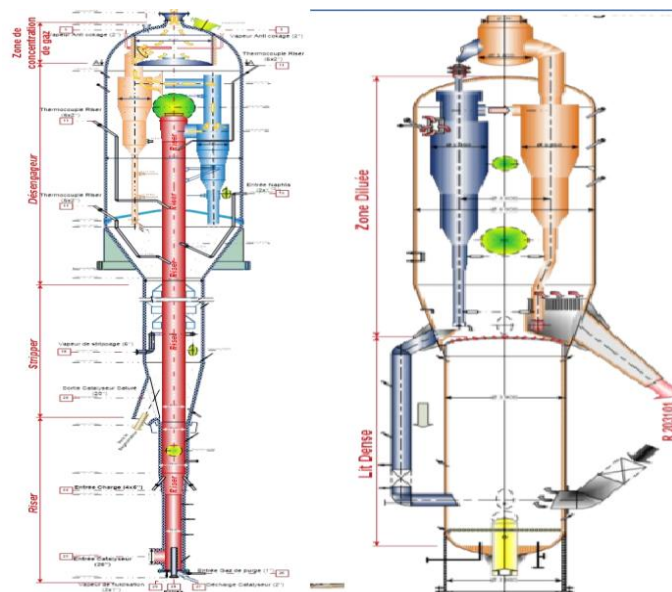


Figure I.3: Section réaction-régénération.

I.6. Les utilités:

Ces installations fournissent les utilités nécessaires au fonctionnement des unités de la raffinerie :

I.6.1. Unité de traitement des eaux :

Suite à diverses utilisations, la raffinerie se doit de traiter les eaux usées.

- a) **Décantation et écrémage des hydrocarbures :** Les effluents pollués, qui proviennent des purges de bac, des réseaux d'eau huileuse, des unités de dessalement du brut et des eaux de pluies arrivent tout d'abord au bassin d'orage de la station, celui-ci peut stocker une grosse quantité d'eau. Il sert principalement à prévenir des situations où les eaux à traiter arrivent en grande quantité (en général lors d'un orage). Puis ces effluents sont dirigés vers le bassin de décantation où l'on procède à plusieurs écrémages successifs des hydrocarbures situés à la surface des eaux.
- b) **Filtration :** Avant de passer dans les filtres on ajoute des flocculant à l'eau, ceux-ci ont pour mission d'agglomérer les matières en suspension encore présentes dans l'eau pour en faire des agglomérats assez gros pour pouvoir être retenus dans les filtres. Suite à ce traitement, l'eau passe dans les filtres à sable ces filtres sont constitués uniquement de sable de rivière car celui-ci ne se désagrège pas au contact de l'eau. Les filtres sont au moins au nombre de trois : deux qui fonctionnent et un que l'on purge en y faisant passer de l'eau à contre-courant pour récupérer les saletés. Cela permet de nettoyer les filtres les uns après les autres, sans pour autant arrêter l'unité de traitement. A la sortie des filtres à sables, l'eau est débarrassée des infimes parties solides qui y subsistaient.
- c) **Traitement biologique :** Le bio filtre permet de traiter les effluents grâce à des bactéries qui se nourrissent d'hydrocarbures et de phénol, présents dans les effluents. Ce procédé est complémentaire du procédé physique (écrémage, filtration, décantation,...).
- d) **Clarificateur :** Les bactéries du biofiltre en mourant se détachent des parois et polluent l'eau. Pour y remédier, à la sortie du bifiltre on laisse l'eau décanter dans le clarificateur ou l'on peut aussi rajouter encore une fois du flocculant pour favoriser la décantation puis on extrait la matière décantée (composée essentiellement de boue et de bactéries mortes) pour l'utiliser comme engrais. A la sortie du clarificateur, l'eau traitée (à qui on a extrait 90% de la pollution) est rejetée vers la mer.

I.6.2. Unité de production de vapeur:

Pour la production de la vapeur la raffinerie de Sbaa est dotée de trois chaudières de 35 t/h /35 bars/ 440 °C pour chacune, et un générateur de vapeur 20- 26 t/h 35 bars/ 440

°C au niveau de l'unité RFCC. En marche normal deux de ces trois chaudières doivent être en service et la troisième en arrêt (elle peut être utilisée en démarrage pour nécessité de la vapeur). Cette vapeur dite vapeur moyenne pression (35 bars/ 440 °C) est produite par les chaudières et le générateur de vapeur de l'unité RFCC est utilisé pour : - Alimentation des trois turbogénérateurs, - alimentation des deux turbo ventilateurs de l'unité RFCC, - alimentation de désurchauffeur de chaudière (afin de diminuer la température et la pression de vapeur), - réseau de vapeur basse pression (10bars /260 °C), c'est le produit de soutirage des deux turbo ventilateurs plus le désurchauffeur, il alimente : compresseur gaz RFCC, - unité de distillation atmosphérique, - unité de reforming, unité RFCC, - bacs de stockage des produits pétroliers, - les eaux usées, - la centrale, - base de vie, - réseau BP 3,5 bars produit par le four de l'unité de distillation c'est la vapeur utilisée pour le stripping. L'exploitation des chaudières est assurée par un système de contrôle automatique DCS de ABB.

I.6.3. Unité de production d'énergie électrique : La consommation totale en énergie électrique de la raffinerie selon le design est de 6900 kw, pour cela ; Trois turbogénérateurs d'une puissance de 6000 kw/6.3 KV pour chacun sont installés, deux en service l'autre en arrêt. Deux générateurs turbo diesel d'une capacité de 1100 kw pour chacun utilisent comme source de secours en cas d'interruption accidentelle d'énergie électrique. Une ligne de SONELGAZ d'une puissance de 16 MVA /31kV/6.3 KV. En marche normale ; deux générateurs en service alimentent la sous station principale de distribution d'énergie électrique et l'autre en arrêt. La station principale de distribution d'énergie électrique (6.3KV) alimente 12 sous stations électriques 6.3kv/0.4 kv et 15 départ 6.3 kv vers des moteurs MT'.

I.6.4. Unité de production d'air comprimé :

La production de l'air service et de l'air instrument est assurée par trois compresseurs d'air identiques deux 02 en service et un 01 en arrêt. L'air instrument est séché à travers une batterie de deux desiccateurs, l'un est en service et l'autre en arrêt. Le ballon de stockage d'air instrument est dimensionné pour assurer une autonomie de fonctionnement de la raffinerie de 30 Minutes, en cas d'arrêt d'urgence.

- a) Air non purifié (service):** Les caractéristiques de l'air service sont les suivantes :
- Pression : 8.8 bars Température : ambiante.

b) Air purifié (instrument) : Les caractéristiques de l'air instrument sont les suivantes : Pression : 8 bars, Température : ambiante. Point de rosée : - 20 °C (à la pression de réseau). Autres : Absence d'huile et poussières.

I.6.5. Unité d'exploitation des eaux de refroidissement et eaux usées:

a) **Réseau eau de refroidissement :** Un appoint en eau traitée de traitement des eaux (osmose inverse) vers les bassins les deux tours d'aerorefrigerant, ces deux tours. Un pour la central ; avec un débit de 4000 m³/h et une pression et température de sortie de 03 bars – 32 °C et 02 bars – 42 °C en retour. La deuxième pour les unités combinées, avec un débit de 3000 m/h et une pression et température de sortie de 4,5 bars – 32 °C et 2,5 bars – 42 °C en retour. Le traitement des eaux de refroidissement se base sur le maintien de son PH dans les limites de 8,5 et 9,5 par l'acide chlorhydrique, et la désactivation des algues par le chlore et d'autres biocides.



Figure I.4: Section de refroidissement de l'eau.

b) **Eaux usées :** La capacité de traitement des eaux usées est de 100 m/h avec deux systèmes en service : eau usée à haute concentration, eaux usées à faible concentration, eau usée à haute concentration est le produit des eaux contaminée avec du acide chlorhydrique due à la régénération des adoucisseurs de traitement des eaux et aussi au rejet concentré de l'osmose inverse environ 20 m/h.

I.7. Stockage des produits:

- Trois bacs (toit flottante) de stockage du brut la capacité de chacun est de 6000 m³ ;
- Un bac pour le stockage de naphta (charge de démarrage) 1000 m³ ;
- Trois bacs pour le naphta (charge de reforming) 1000 m³;
- Six bacs pour l'essence normale 90 avec une capacité de 3000 m³ pour chacun ;
- Un bac d'essence super 96 de 500 m³ ;

- Deux bacs de 500 m³ d'essence non conforme ;
- Quatre bacs de gasoil, 4000 m³ capacité de chacun ;
- Quatre bacs pour le kérosène de 500 m³ ;
- Deux bacs de diesel non conforme de 500 m³ ;
- Trois bacs de 3000 m³ pour le fuel (charge de RFCC) ;
- Quatre bacs de 300 m³ pour le fuel (alimentation de chaudière) ;
- Deux sphères de capacité de 1000 m³ de propane ;
- Trois sphères de 1000 m³ pour butane ;
- Deux sphères de 400 m³ pour GPL (charge) ;
- Une sphère de 400 m³ pour GPL non conforme.



Figure 1.5: Section des bacs de stockage.

CHAPITRE II

REFORMAGE CATALYTIQUE

Le reformage catalytique est, depuis son origine en 1939 aux États-Unis, un procédé de raffinage des essences, mais il assure aussi une partie non négligeable de l'approvisionnement de la pétrochimie en hydrocarbures aromatiques [6]. Aujourd'hui, la plupart des raffineries sont équipées d'un reformage catalytique ; il sert à produire, à partir des coupes pétrolières, couramment appelées « naphtas » à faible indice d'octane (40 à 60), constituées principalement par les essences de distillation directe, des bases pour carburants à haut indice d'octane [10].

Pour maintenir le nombre d'octane final à un même niveau, le reformage catalytique sera amené à surpasser dans la production de molécules à indice d'octane élevé, c'est-à-dire en aromatiques et en structures isoparaffiniques très branchées [12].

Deux événements plus récents ont contribué par la suite à accentuer encore cette tendance à accroître les rendements en composés aromatiques. Il s'agit de la mise en place d'une réglementation antipollution (les problèmes de lutte contre la pollution amènent à prévoir ou envisager, selon les pays, la suppression ou la réduction des additifs à base de plomb dans les essences), et de l'obligation de pratiquer des économies d'énergies et, pour ce faire, de mieux valoriser les coupes pétrolières [6].

À l'heure actuelle, pour répondre aux contraintes énergétiques accrues, les industriels recherchent à nouveau des procédés plus spécifiques. Ils ont ainsi recours en raffinage à des reformeurs opérant à haute sévérité, mais avec une plus grande stabilité de fonctionnement et des rendements en essence améliorés, et en pétrochimie, à l'optimisation de la production en aromatiques BTX par l'emploi des réacteurs à haute température [12].

L'évolution du procédé a été caractérisée par les deux tendances suivantes [12]:

- Améliorations des propriétés du catalyseur, en passant du monométallique aux bi et trimétalliques.
- Améliorations des techniques de mise en œuvre qui ont conduit aux procédés à lits fixes et aux procédés à lit fluidisés.

II.1. Principe du procédé de reformage catalytique

Le procédé de reformage catalytique consiste, en première approximation, à produire des aromatiques ayant de 6 à 10 atomes de carbone, avec un maximum n'en ayant que 7, 8 ou 9. Pour cela, on part de charges contenant des paraffines ou des naphthènes ayant un nombre équivalent d'atomes de carbone. Le tableau II.1 donne la composition de deux charges typiques extrêmes : l'une, 63 % masse de paraffines, et l'autre, 63 % masse de naphthènes. À noter que les quantités d'aromatiques, dans ces deux charges de première distillation, sont inférieure à 15 % masse. Les propriétés globales de ces deux charges sont données dans la partie (b) du tableau II.1, le NOR est faible 50 pour la charge paraffinique, 66 pour la charge naphténiqne, le poids moléculaire est de l'ordre de 115 donc centrés sur les C₈ [6].

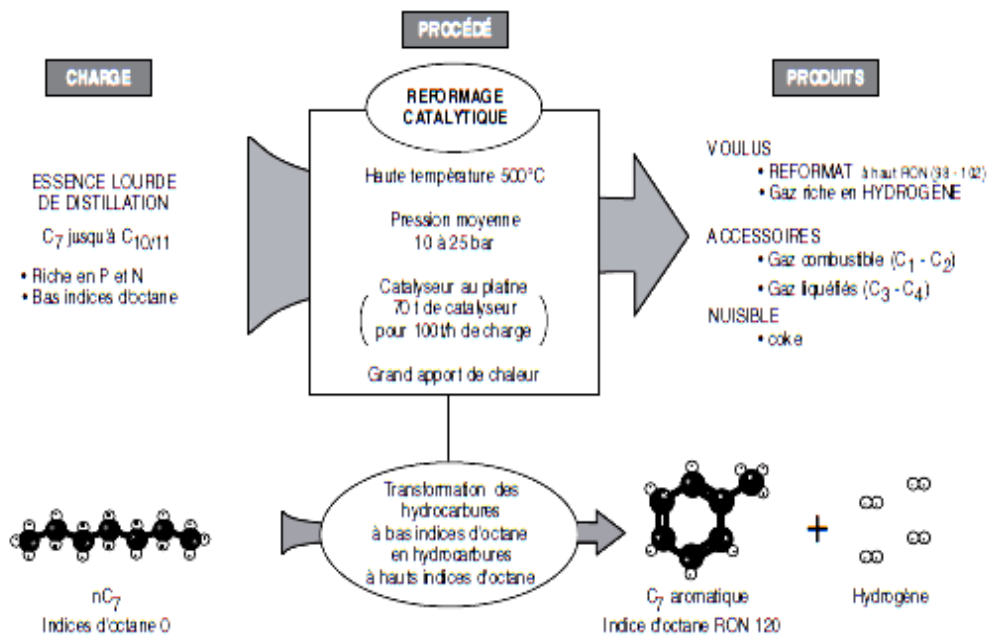


Figure II.1 : Principe de reformage catalytique [8].

Tableau II.1 : Caractéristiques des deux charges typiques. Analyse par famille et par nombre d'atomes de carbone, exprimée en % massique [6].

	P Paraffines	N Naphtènes	A Aromatiques
Charge (a)			
C ₅	-	-	-
C ₆	5.49	2.30	0.41
C ₇	16.83	5.80	3.18
C ₈	21.38	8.27	6.80
C ₉	17.26	5.95	3.08
C ₁₀	2.59	0.63	-
Total	63.55	22.95	13.47
Charge (b)			
C ₅	0.16	0.27	-
C ₆	3.31	5.78	0.20
C ₇	6.13	14.24	1.20
C ₈	9.79	14.47	3.54
C ₉	3.89	17.14	4.29
C ₁₀	3.59	11.17	0.88
Total	26.81	63.07	10.10

II.2. Les réactions élémentaires du reformage catalytique

Comme dans le cas où l'on cherche à obtenir un nombre d'octane élevé à partir d'un mélange d'hydrocarbures, la production des aromatiques est issu de plusieurs réactions les plus importantes sont les suivantes:

- La déshydrogénation ;
- L'isomérisation ;
- La cyclisation ;

Diverses réactions parasites ont également lieu ; les plus importantes sont les suivantes :

- L'hydrocraquage ;
- La formation de coke [12].

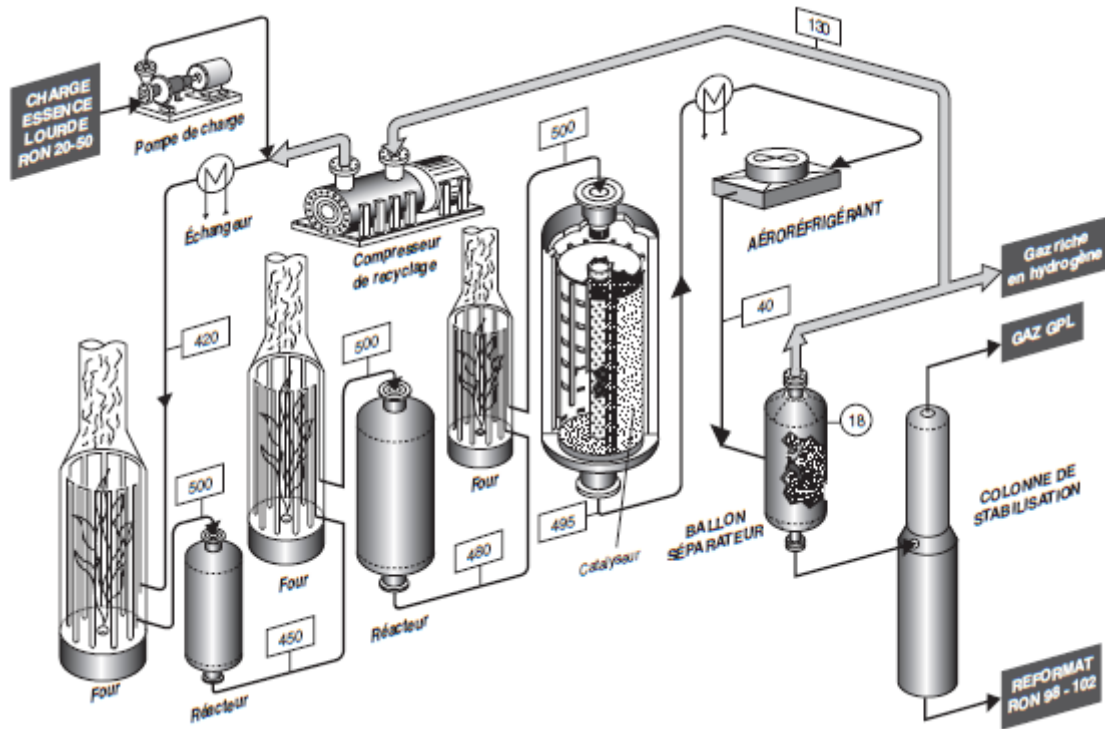


Figure II.2 : Schéma du reformage catalytique [8].

II.2.1. Déshydrogénation des cyclanes en hydrocarbures aromatiques

Un exemple de cette réaction est donné ci-dessous, celui de la déshydrogénation du cyclohexane en benzène :

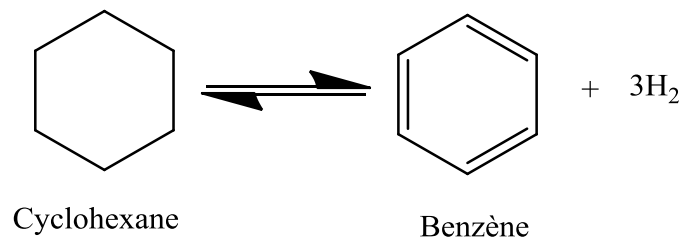


Figure II.3: Déshydrogénation du cyclohexane en benzène [12].

Cette réaction est très endothermique ($\Delta H = 210 \text{ kJ/mol}$) et s'accompagne d'une augmentation du nombre de moles ; elle est donc favorisée par un accroissement de la température et un abaissement de la pression. Par ailleurs, la vitesse de la réaction diminue avec l'augmentation du nombre d'atomes de carbone de la charge mais demeure

notablement plus élevée que celles des autres réactions, qui augmentent, elles, avec le nombre d'atomes de carbone de la charge [12].

II.2.2. Déshydrocyclisation des paraffines

Un exemple de cette réaction est donné ci-dessous :

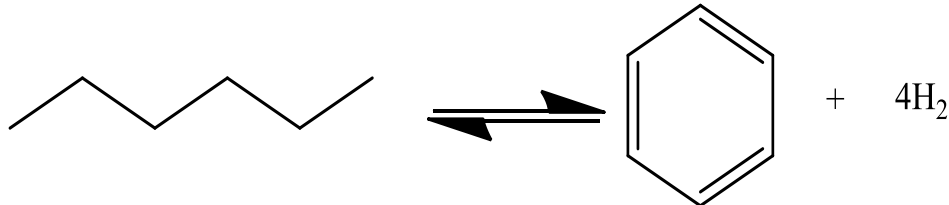


Figure II.4 : Déshydrocyclisation des paraffines.

La déshydrocyclisation des paraffines est encore plus endothermique ($\Delta H = 250$ KJ/mol) que la déshydrogénation et s'accompagne d'une augmentation du nombre de moles ; elle est donc favorisée par une température plus élevée et une pression plus basse, mais elle est, par contre, beaucoup plus lente et, à cause de sa faible vitesse, ne devient importante que si les conditions adoptées sont sévères (température élevée et basse pression) [8].

II.2.3. Isomérisation des n-paraffines en isoparaffines et des alkylcyclopentanes en alkylcyclohexanes

Un exemple de ces deux réactions est donné ci-dessous :

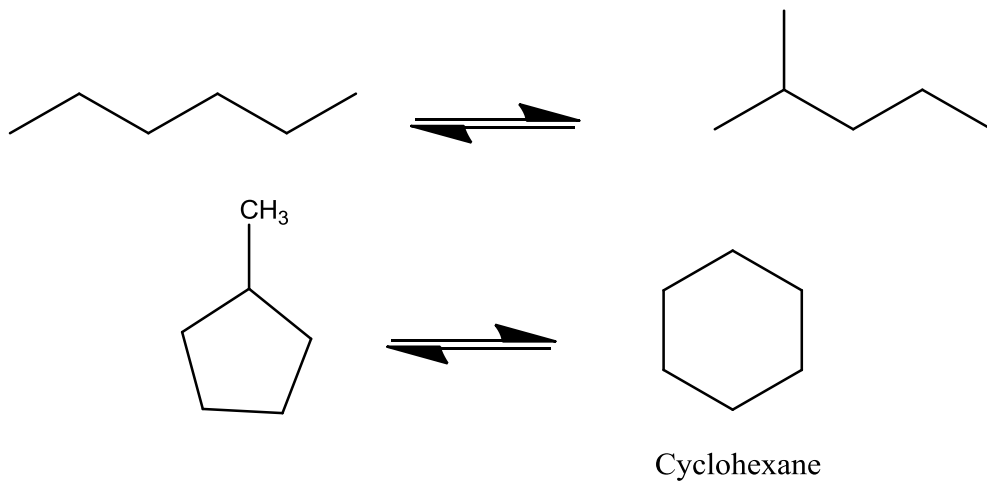


Figure II.5 : Isomérisation des n-paraffines en isoparaffines.

L'isomérisation, faiblement exothermique ($\Delta H = - 10$ à $- 20$ kJ/mol), est très rapide dans les conditions usuelles de fonctionnement. De ce fait, elle est peu sensible à une variation de température et insensible à la pression, mais elle est inhibée par les composés aromatiques formés dans la réaction globale de reformage.

L'équilibre thermodynamique de l'isomérisation est constamment déplacé par les deux réactions précédemment décrites [11].

II.2.4. Hydrocraquage

C'est une réaction exothermique ($\Delta H = - 40$ kJ/mol), thermodynamiquement complète dans les conditions opératoires usuelles mais limitée par une vitesse de réaction lente. Lorsque la température s'élève, cette transformation peut devenir plus importante que l'isomérisation et la déshydrogénation. Elle devient d'autant plus importante que la concentration en composés aromatiques croît [12].

II.2.5. Formation de coke

Elle résulte d'un craquage poussé des hydrocarbures, favorisé par une haute température et une basse pression. Elle constitue l'une des réactions parasites les plus gênantes puisqu'elle entraîne une diminution de l'activité des catalyseurs. Elle est combattue en maintenant une pression d'hydrogène qui oriente vers l'hydrocraquage mais exerce un effet défavorable sur la thermodynamique de la déshydrogénation [12].

II.3. Catalyseurs du reformage catalytique

II.3.1. La nature du catalyseur

Les catalyseurs de reformage sont généralement constitués d'un métal déposé sur un support tel que l'alumine. Ce catalyseur est préparé par imprégnation d'une γ alumine par une solution d'acide hexachloroplatinique H_2PtCl_6 , appelé précurseur, solution stable seulement dans un environnement acide obtenu par addition de HCl [1].

a. Platine sur alumine chloré

Quelques centaines de tonnes de ce type de catalyseur fonctionnent encore dans le monde ; le tableau en donne les principales caractéristiques [9].

Tableau II. : Principales caractéristiques des catalyseurs Pt/Al₂O₃ [6].

Caractéristiques	Valeurs moyennes (ppm)
Support	Alumine γ cubique
Impuretés :	
Alcalins + alcalino-terreux	< 500
Surface spécifique (m ² /g)	150-250
Volume poreux total (cm ³ /g)	0.5-0.8
Diamètre des pores (nm)	8-10
Teneur en chlore (% masse)	1
Teneur en platine (% masse)	0.2-0.6
Diamètre des extrudés ou billes (nm)	1.2-2.2

La base est l'alumine γ cubique chlorée à environ 1% masse. La surface spécifique va de 150 à 250 m²/g, les volumes poreux de 0.5 à 0.8 cm³/g et par conséquent, le diamètre moyen des pores est de l'ordre de 10 nm. Les aluminés utilisés sont très purs ; les métaux alcalins, alcalino-terreux, le fer,... représentent toujours moins de 500 ppm sur les catalyseurs neufs et en général moins de 100 ppm. Le catalyseur se présente sous forme de billes (lits fixe et mobile) ou d'extrudés (lit fixe) d'environ 1.2 à 2.2 mm de diamètre [6].

En dehors des propriétés du support et de la quantité de platine, il est essentiel de tirer le meilleur parti des teneurs de platine présentes sur le catalyseur. Pour cela, il convient que chaque atome de platine soit accessible aux réactifs donc qu'il se trouve sous forme d'amas de taille aussi faible que possible. Un gramme de platine, bien dispersé à la surface d'une alumine, représentera une surface d'environ 260 m² et aura des activités hydrogénantes ou déshydrogénantes maximales [11]. Par contre au cours de la mise en œuvre du catalyseur, des opérations non optimales, sont effectuées, on obtient des valeurs inférieures à 100 m²/g de platine et un catalyseur 3 fois moins actif [3].

On définit la dispersion D par le rapport surface réelle / surface théoriquement possible par gramme de platine ; on peut atteindre cette surface théorique sur les catalyseurs industriels. La réduction de l'activité est directement proportionnelle à la

variation de D pour la déshydrogénation ; pour la déshydrocyclisation, elle varie dans le même sens mais de façon plus complexe [3].

b. Bimétalliques

Les premiers catalyseurs bimétalliques ont été introduits à la fin des années 1960. Ils sont constitués de platine associé à un autre métal (irridium, rhenium, étain ou germanium). Ils ont permis, tout en conservant des durées de cycles acceptables, soit d'augmenter l'activité à conditions opératoires identiques (Ir), soit de baisser la pression opératoire à même durée de cycle (Re), soit encore d'améliorer les rendements à basse pression (Sn surtout et Ge, peu utilisé aujourd'hui). Aujourd'hui l'utilisation de Pt/Re est majoritaire en semi-régénératif et celle de Pt/Sn, largement majoritaire en lit circulant [1].

II.3.2. Principe de bifonctionnalité

Quant un système catalytique implique deux types de sites actifs pour une ou plusieurs réactions, il est dit bifonctionnel. Les catalyseurs de reformage font partie de cette catégorie de matériaux. Comme nous l'avons déjà signalé, lors du reformage catalytique, les différentes réactions de ce procédé font intervenir deux types de sites actifs, la phase métallique et les sites acides du support. L'intervention de ces deux facteurs est en fait souvent nécessaire pour obtenir les produits recherchés [1].

Ces conséquences réactionnelles sont apparemment compliquées mais elles ont lieu facilement lors des conditions de réactions qui sont sévères : hautes températures environ 450°C, pression élevée environ 5 bars. Ce mécanisme ne tient pas compte des réactions de craquage et simplifie en fait la représentation du schéma réactionnel de l'hexane normal.

- **La fonction métallique** : s'associe à des transferts d'hydrogène par activation des liaisons carbone-hydrogène des molécules mises en contact avec l'agrégat.
- **La fonction acide** : participe au réarrangement du squelette carbone du réactif. Il est généralement admis que les ruptures des liaisons carbone-carbone se font sur les sites acides de l'alumine chlorée.

II.3.3. Catalyseur bifonctionnels

Les réactions chimiques que l'on cherche à favoriser le reformage catalytique font appel à deux mécanismes de base qui sont les suivants

✓ La déshydrogénation et l'hydrogénation qui interviennent aussi bien dans les réactions d'aromatisation que dans les réactions de modification de structure des molécules.

✓ Les modifications de structure des molécules, qui intervient en particulier dans les réactions de cyclisation des paraffines, d'isomérisation et d'hydrocraquage.

Il est à signaler que la déshydrogénation des naphènes cyclohexanique en aromatique ne fait appel qu'au premier mécanisme. Toutes les autres les autres transformations nécessitent l'intervention des deux mécanismes.

En conséquence, on comprend que les catalyseurs de reformage catalytique qui doivent favoriser ces deux types de mécanisme, présentent deux types d'activités, on dit qu'ils sont bifonctionnels [13].

II.3.4. Préparation des catalyseurs

La fabrication du catalyseur de reformage catalytique fait appel aux opérations suivantes [14] :

- Support d'alumine de grande pureté conservant ses propriétés physiques et mécaniques à température élevée.

- Imprégnation du support : cette technique est utilisée pour la préparation de catalyseur contenant de faibles quantité de métaux l'imprégnation de l'alumine est effectuée par une solution d'acide chloroplatinique en compétition avec l'acide chlorhydrique (HCL) ce qui a pour effet de réaliser une bonne répartition du platine sur le support et en même temps de la chloration.

- Séchage et calcination du catalyseur : le catalyseur et en suite séché puis calciné pour l'amener à un taux d'humidité et une teneur en chlore correctes après calcination [10].

CHAPITRE III

LES CATALYSEURS

III.1. Définition

La vitesse de certaines réactions chimiques augmente lorsqu'une substance étrangère, non consommée par la réaction, est ajoutée au volume réactif. En 1835, Berzelius dénomme ce phénomène «catalyse» [2].

On désigne par un catalyseur toute substance qui peut accélérer la vitesse d'une réaction chimique thermodynamiquement possible. On distingue deux types de catalyse, celle dans laquelle le catalyseur et le milieu réactionnel sont de la même phase, appelée «catalyse homogène», et dans l'autre le catalyseur et le milieu réactionnel sont de différentes phases, appelée catalyse hétérogène [3].

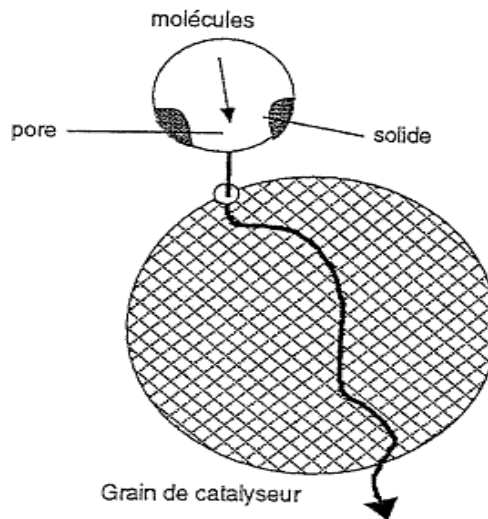


Figure III.1 : Schéma simplifié sur le rôle d'un catalyseur.

Un catalyseur est généralement un solide poreux qui se présente sous forme de bâtonnets ou de billes dont le rôle est d'accélérer les transformations chimiques recherchées dans le procédé. Un catalyseur agit par sa surface : les molécules de la charge se déposent sur la surface du catalyseur dans les pores et se transforment sur cette surface.

La composition chimique du catalyseur doit être adaptée aux transformations souhaitées ce qui explique la diversité des formules catalytiques.

III.2. Principaux types de catalyseurs

Les phases actives des catalyseurs de raffinage sont rarement massiques et, le plus souvent, dispersées sur un support oxyde.

III.2.1. Catalyseurs massiques :

Ce sont exclusivement constitués de phase active. C'est le cas des catalyseurs Claus (Al_2O_3 et/ou oxyde de titane, des catalyseurs d'oligomérisation hétérogène (silice-alumine, zéolithes) et des supports de certains catalyseurs bi fonctionnels, véritables Co catalyseurs. C'est le cas des alumines γ ou γ chlorées, supports des catalyseurs de reformage ou d'isomérisation des paraffines légères.

III.2.2. Catalyseurs supportés :

Ils sont composés d'une phase active dispersée sous contrôle sur un support oxyde préalablement mis en forme. C'est par exemple le cas des catalyseurs de reformage catalytique constitués d'environ 0.5% de platine et d'un promoteur dispersé sur un support d'alumine γ chlorée. à la différence des catalyseurs massiques, l'utilisation d'un support oxyde préformé permet d'en maîtriser la genèse et notamment l'optimisation des propriétés texturales, structurales, mécaniques et de la morphologie [4].

III.2.3. Catalyseurs combinés :

Ces catalyseurs sont constitués par ceux issu d'une opération unitaire combinant la mise en forme et l'ajout d'une phase active ou des sels précurseurs. À cette catégorie peuvent être rattachés les catalyseurs d'hydrorafinage comalaxés, les catalyseurs de craquage catalytique, véritables « composites » obtenus après séchage par atomisation et certains catalyseurs hétérogènes obtenus par coagulation en goutte d'un mélange d'hydrogel d'alumine et de zéolithe.

III.2.4. Catalyseurs homogène :

Ils sont élaborés à partir de complexes organométalliques interagissant avec un milieu solvant approprié. Ils sont ajoutés à l'état de traces dans le milieu réactionnel. Ils interviennent notamment en oligomérisation d'oléfines légères pour la production de carburants, dans l'adoucissement des essences et des kérosènes.

III.3. Caractéristiques et propriétés du catalyseur

Les caractéristiques économiques des procédés catalytiques du raffinage sont étroitement dépendantes des propriétés et plus spécifiquement des caractéristiques du catalyseur. L'utilisateur, le bailleur de procédé et le fabricant du catalyseur attachent beaucoup d'importance à leur contrôle et, pour les deux derniers, à leur reproductibilité par une maîtrise achevée des techniques de préparation et de caractérisation [4].

III.3.1. Caractéristiques catalytiques fondamentales

Trois grandeurs fondamentales caractérisent l'action du catalyseur : l'activité, la sélectivité et la stabilité.

Tableau III.1 : Propriétés catalytiques fondamentales [4].

Propriétés	Définition
Activité	Capacité du catalyseur à activer la transformation d'une charge en produits. Elle s'exprime en : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kg de réactif converti par Kg (ou par litre) de catalyseur et par heure. ▪ % du réactif converti. ▪ Mole ou bien g de réactifs transformées par g de catalyseur et par seconde. ▪ Mole ou bien g de réactifs transformés par m² de catalyseur et par seconde. ▪ Molécules de réactifs transformées par site et par seconde.
Sélectivité	Capacité du catalyseur à activer la transformation vers le produit recherché, parmi tous ceux possibles. S'exprime en pour cent par rapport à la fraction de réactif transformé (ou aux produits formés).
Stabilité	S'exprime par la durée (minutes, heures, mois, années) pendant laquelle le catalyseur maintient l'activité et/ou la sélectivité visées.

- **L'activité :** d'un catalyseur exprime la vitesse de transformation des réactifs dans des conditions opératoires données. Une bonne activité se traduit par une vitesse de réaction élevée permettant soit d'utiliser peu de catalyseurs, soit d'opérer dans des conditions peu sévères et notamment à une température relativement basse.
- **La sélectivité :** caractérise l'aptitude d'un catalyseur à activer essentiellement la transformation des réactifs vers le produit recherché parmi tous ceux dont la formation est possible. Une sélectivité élevée permet d'obtenir de bons rendements dans le produit désiré, en rendant minimum les réactions parasites.
- **La stabilité :** est définie par le temps pendant lequel l'activité et la sélectivité du catalyseur restent inchangées. En effet, ces propriétés évoluent plus ou moins vite dans le temps.

III.3.2. Caractéristiques intrinsèques

L'activité, la sélectivité et la stabilité du catalyseur résulte de deux grandes classes de caractéristiques intrinsèques.

a. Les propriétés structurales : La qualité de sites dispersés sur la surface active, dont dépend l'acte catalytique proprement dit, est déterminée par les caractéristiques de la phase active accessible (structure, composition chimique locale, défauts). Ces caractéristiques déterminent elles-mêmes les caractéristiques intrinsèques des sites accessibles (nature, force, densité, stabilité, etc.).

b. Les propriétés texturales : Ces propriétés régissent les possibilités d'accès des réactifs (par diffusion) jusqu'aux sites précités, ainsi que symétriquement, les possibilités d'évacuation par diffusion des produits de réaction à l'extérieur. La texture du catalyseur est déterminée par la surface spécifique totale, la surface spécifique active (exprimée en pour cent d'accessibilité pour les métaux dispersés) le volume accessible des pores, les dimensions et la distribution en taille des pores, et enfin l'interconnectivité du réseau poreux [4].

III.3.3. Caractéristiques non catalytiques

Il s'agit essentiellement de la morphologie du catalyseur, de ses propriétés mécaniques et de ses propriétés thermiques. Les caractéristiques morphologiques externes du catalyseur : forme, et granulométrie, sont dictés par commandé le procédé catalytique qui l'emploie. La forme sphérique est recommandée pour les lits fluidisés. Dans un lit fixe, les catalyseurs sont constitués d'extrudés, de billes, de pastilles ou présentent des morphologies particulières (anneaux, monolithes) lorsque la perte de charge doit être minimum [4].

a. Les propriétés mécaniques : au cours de son existence, le catalyseur est soumis à des contraintes mécaniques diverses (productions, transport, stockage, chargement dans le réacteur, démarrages et arrêts de l'unité, déchargement, régénération hors sites, rechargement, etc.) entraînant des phénomènes de casse, d'abrasion et d'attrition. La marche de l'unité constitue parfois une période critique, notamment lorsque le catalyseur circule [4]. La résistance aux dégradations mécaniques est donc une propriété importante qu'il importe de contrôler.

b. Les propriétés thermiques : dans le cas de réactions à forte thermicité (exo ou endo) une bonne conductivité thermique permet de limiter les gradients de température dans le grain et dans le lit de catalyseur en favorisant les transferts de chaleur [4].

III.3.4. Propriétés physico-chimiques

a. Propriétés texturales et leur détermination : Le grain de catalyseur quelque soit sa genèse est constitué d'un assemblage de micrograins eux-mêmes formés par l'enchevêtrement de particules élémentaires (microcristallites, agrégats moléculaires) [4]. Les principales propriétés texturales mesurées sont les surfaces ou aires spécifiques (en m^2 par g de catalyseur). Concernant l'aire spécifique, il faudra distinguer la surface totale accessible par une technique d'adsorption physique non sélective et la surface active accessible (métaux, sulfures) qui sera mesurée par une technique d'adsorption chimique sélective, suivie éventuellement d'une titration en retour des sites actifs.

b. L'aire spécifique globale : La méthode la plus courante est celle de BET (Brunauer, Emmer, Teller) fondée sur l'adsorption physique d'un gaz inerte (N_2 , Kr) à température constante, on se place à proximité de la température de liquéfaction de l'adsorbat. Le principe de la mesure consiste à repérer le rapport p/p_0 correspondant à la formation d'une monocouche, à déduire de la transformée linéaire le volume V_m adsorbé puis à le rapporter au volume moléculaire V_M de l'adsorbat.

On aura :

$$S = \frac{\sigma V_m}{V_M \cdot N} \dots \dots \dots (III. 1)$$

Avec :

σ : aire de la molécule adsorbée (16.2 \AA^2 pour N_2) ;

V_M : Volume moléculaire de l'adsorbat ;

V_m : Volume adsorbé pour former une monocouche du gaz de volume molaire V_M ;

N : nombre d'Avogadro.

c. Surface active accessible : Les liaisons mises en jeu par adsorption chimiques sont beaucoup plus fortes que dans le cas d'adsorption physique ; les isothermes d'adsorption chimiques sont du type Langmuir. Le palier horizontal correspond à la monocouche d'adsorbat d'où on calcule V_m (volume adsorbé). La stœchiométrie n de la réaction de chimisorption étant connue (nombre d'atomes métalliques nécessaire pour chimisorber une molécule d'adsorbat).

III.4. Cycle catalytique

Du moment que la réaction catalytique ne peut avoir lieu dans tout le volume de la phase fluide, mais à l'interface solide-fluide, la formation des espèces adsorbés actives ce qui résulte un transport des molécules vers la surface du site actif. La réaction de surface donne des produits qui doivent d'abord se détacher (désorption) du solide, puis migrer vers la phase fluide [3].

Le cycle catalytique passe par sept étapes essentielles :

- Transfert des réactifs vers la surface du solide : la diffusion, processus physique, tend à égaliser les concentrations dans la phase fluide. Un courant de diffusion s'établit donc au voisinage de l'interface solide/fluide, lorsque la consommation des réactifs sur la surface et la formation de produits provoquent dans cette région des gradients de concentrations. En régime permanent, le flux J_i (en mole. $S^{-1}.m^{-2}$) d'une substance (vers la surface du catalyseur) est proportionnel au gradient de concentration C_i de cette substance. Le facteur de proportionnalité, appelé coefficient de diffusion est beaucoup plus faible dans les liquides que dans les gaz ;
- Adsorption des réactifs sur le catalyseur : l'adsorption se traduit par des ruptures de liaisons intramoléculaires et il y a formation de liaisons avec la surface. Ces espèces adsorbées constituent des intermédiaires actifs qui, réagissant entre eux, permettront à la réaction de se dérouler suivant un mécanisme différent de l'activation thermique ;
- Interaction entre réactifs adsorbés à la surface : il est difficile de connaître les réactions qui se produisent à la surface du catalyseur. En effet, les réactions sont généralement trop rapides malgré les progrès des méthodes analytiques. D'autre part, on n'est jamais certain d'avoir identifié toutes les espèces adsorbées intervenant réellement dans une transformation ;
- Désorption des produits de la surface catalytique : une réaction catalytique est une suite de réactions élémentaires et les sites actifs doivent être régénérés après désorption des produits ;
- Transfert des produits quittant la surface du catalyseur vers le milieu fluide.

Les étapes 1 et 5 correspondent à des processus physique de transfert de matière vers le grain du catalyseur et à l'intérieur de ce grain généralement poreux, les trois autres étapes sont des phénomènes chimiques dont l'ensemble constitue la transformation chimique proprement dite.

Si on considère la couche laminaire immobile entourant le grain catalytique on doit ajouter les deux étapes suivantes au cycle catalytique cité ;

- Diffusion externe des réactifs à travers la couche limite qui entoure le grain ;
- Diffusion externe des produits à travers la couche limite vers la phase homogène [1].

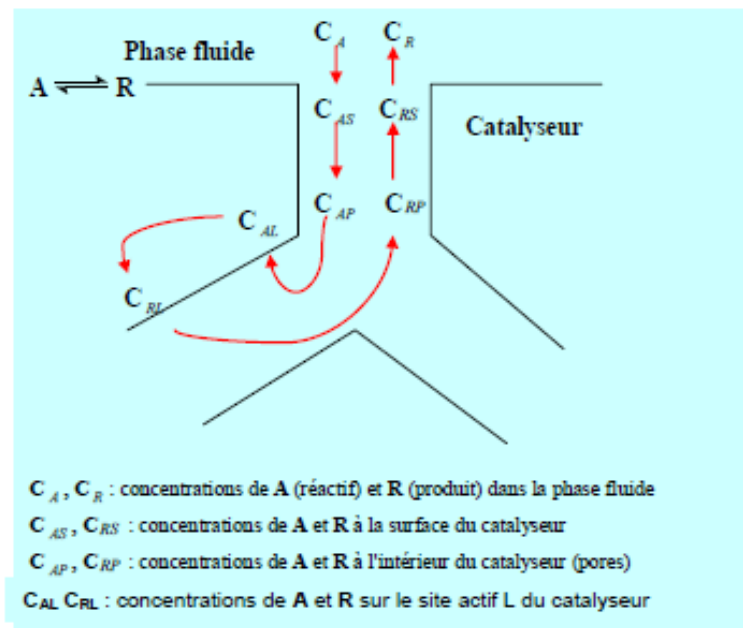


Figure III.2: Le cycle catalytique [5].

III.5. Causes de la désactivation des catalyseurs

Une perte significative d'activité et/ou de sélectivité entraîne généralement la décharge ou la régénération du catalyseur. Dans tous les cas, cette diminution des performances correspond à une diminution du nombre de sites accessibles pour l'acte catalytique. Cette diminution peut être irréversible ou réversible [3]. La perte d'activité pourra être compensée par une élévation de la température opératoire. À titre d'exemple une augmentation de 10 °C de la température opératoire (300-310 °C) compense une perte d'activité de 25 % si l'incrément thermique apparent est de 84 KJ/mole.

Indépendamment du caractère réversible ou irréversible de la désactivation recense trois causes principales :

- Les causes physiques ;
- L'empoisonnement par des impuretés ;
- L'empoisonnement par les réactifs ou les produits de réaction.

III.5.1. Causes physiques

L'agglomération des cristallites par frittage constitue la principale cause physique du vieillissement des catalyseurs : le frittage entraîne une diminution sensible de la surface active (métaux, sulfures) et parfois de l'aire spécifique totale (supports oxydes) [4]. La fracturation des grains de catalyseur, leur attrition ou leur abrasion entraînent une augmentation de la perte de charge (lit fixe) ou une production de « fines » (lit mobile, lit fluide) incompatible avec la poursuite de l'opération industrielle. Le bouchage de la macroporosité externe par des impuretés de la charge est une des causes de la désactivation des catalyseurs. Plus généralement, un dysfonctionnement de l'unité industrielle est souvent à l'origine de désactivations physiques (marche hors conditions opératoires, excursions thermiques, etc.).

III.5.2. Empoisonnement par des impuretés

L'empoisonnement modifiant les sites actifs, il peut soit affecter l'activité (nombre de sites) soit la sélectivité (certains sites) soit les deux. L'effet d'empoisonnement est spécifique d'une formulation catalytique. Ainsi, en catalyse bifonctionnelle métal-acide (reformage, isomérisation). Le chlore est un promoteur d'acidité (il rend aussi le platine thiorésistant) ; mais il est un poison pour d'autres métaux (Ni en vaporeformage, Cu en conversion basse température de l'oxyde de carbone). La distribution du poison dans la particule de catalyseur et dans le lit catalytique (cas du lit fixe) est déterminée à la fois par la cinétique d'empoisonnement et par la mobilité du poison [4].

III.5.3. Empoisonnement par les réactifs ou par les produits de réaction

La désactivation par dépôt de coke est l'exemple le plus commun de cette catégorie ; il a fait l'objet de nombreux travaux. Cette désactivation, réversible pour les catalyseurs de craquage catalytique, de reformage catalytique, est limitée dans les autres procédés par ajustement des propriétés acides du support, des propriétés intrinsèques de la phase active et par ajustement des conditions opératoires. Un composé organométallique présent dans un résidu, charge d'hydrotraitement, peut réagir avec H_2S pour former un sulfure qui modifie les propriétés du catalyseur.

III.6. Les remèdes contre les différentes formes de désactivation

Le dépôt de goudrons, ou de coke, est justiciable d'une régénération par combustion au moyen d'un courant de gaz contenant de l'oxygène. On observe que, fort heureusement, une telle procédure parvient à restaurer l'activité du catalyseur partiellement coké. Un catalyseur de craquage de coupes pétrolières, par exemple, peut supporter ainsi des milliers de cycles réaction-régénération par combustion [1].

Pour combattre l'empoisonnement, il faut d'abord découvrir la (ou les) substance (s) responsable (s) de l'empoisonnement puis, soit traiter la charge pour en éliminer les composés indésirables, soit mettre en œuvre, si possible, un catalyseur résistant mieux aux poisons, soit encore sacrifier une portion de lit catalytique disposé avant le lit proprement dit. Les causes physiques doivent être combattues à la racine, car c'est au cours de la mise au point des formules catalytiques que sont testés les différents moyens d'empêcher ces transformations de phase cristallines ou recristallisations [6].

III.7. Régénération des catalyseurs

Il existe deux types d'unités de catalyseur:

- Les unes semi-régénératives, avec traitement in situ du catalyseur, lors d'arrêts périodiques tous les 6 mois à 1 an.
- Les autres régénératives cycliques, avec utilisation d'un réacteur supplémentaire dit «swing» à même, lors des régénérations, de remplacer successivement chacun des autres réacteurs et d'assurer ainsi une production ininterrompue [7].

Avec le développement des systèmes catalytiques multimétalliques est apparue une nouvelle génération de procédés, dits régénératifs. Ils opèrent par soutirage et régénération en continu du catalyseur qui est ensuite recyclé aux réacteurs. Cette technologie s'applique à la production d'essence et spécifiquement celle d'aromatiques ; elle supporte en effet des conditions de traitement plus sévères qui permettent une cyclisation poussée des paraffines, l'élimination par hydrocraquage de celles qui subsistent et l'hydrodésalkylation des composés les plus lourds. Au terme d'un premier cycle de fonctionnement, un nombre important de catalyseurs industriels sont justiciables d'une régénération. Dans quelques procédés industriels : craquage catalytique, reformage catalytique à régénération continue, la régénération est l'une des étapes du procédé, et n'entraîne aucune intervention

spécifique. Dans la majorité des autres cas, le problème se pose de régénérer le catalyseur soit sur le site, c'est-à-dire sans décharger le catalyseur, soit hors site, en faisant appel à des entreprises spécialisées [3].

III.8. Etude d'exemple : Cas du lit fixe semi-régénératif (SR)

On nomme ainsi ce type de procédé, car la régénération du catalyseur entraîne l'arrêt de l'installation à la fin du cycle. Les unités annexes sont destinées à permettre une utilisation optimale des catalyseurs, et à compenser certains défauts :

✓ Le catalyseur est sensible aux impuretés, composés azotés, oxygénés et soufrés, et métaux, il faut donc prévoir une section de purification de la charge. Cette dernière se fait par un hydrotraitement qui bloque les métaux et produit de l'ammoniac, de l'hydrogène sulfuré et de l'eau qui sont éliminés dans la section de purification (figure III.2). La charge, de plus, peut être traitée sur tamis moléculaire pour retenir les quelques ppm d'eau résiduelle et éventuellement sur une masse de captation des composés sulfurés.

✓ Le catalyseur se désactive rapidement en l'absence d'hydrogène ; cette désactivation est notablement réduite par la présence d'hydrogène ; on impose donc une pression partielle d'hydrogène élevée ($H_2/HC > 8$ pour un monométallique) par compression et recyclage d'une partie de l'hydrogène produit lors de la réaction. Cet hydrogène peut contenir quelques impuretés, eau, acide chlorhydrique et parfois H_2S et doit être séché, déshydrochloré, et désulfuré sur des masses d'adsorption spécifiques.

✓ Enfin, le catalyseur produit, à côté de l'hydrogène, des hydrocarbures légers C_1 à C_4 qui sont séparés du reformat dans une section de stabilisation. Suivant la pression opératoire et pour obtenir un hydrogène relativement pur et une bonne récupération de l'essence, on sera amené à mettre en œuvre des systèmes de séparation plus ou moins complexes : simple ballon séparateur, systèmes de purification par recontactage, refroidissement poussé, ...etc [4].

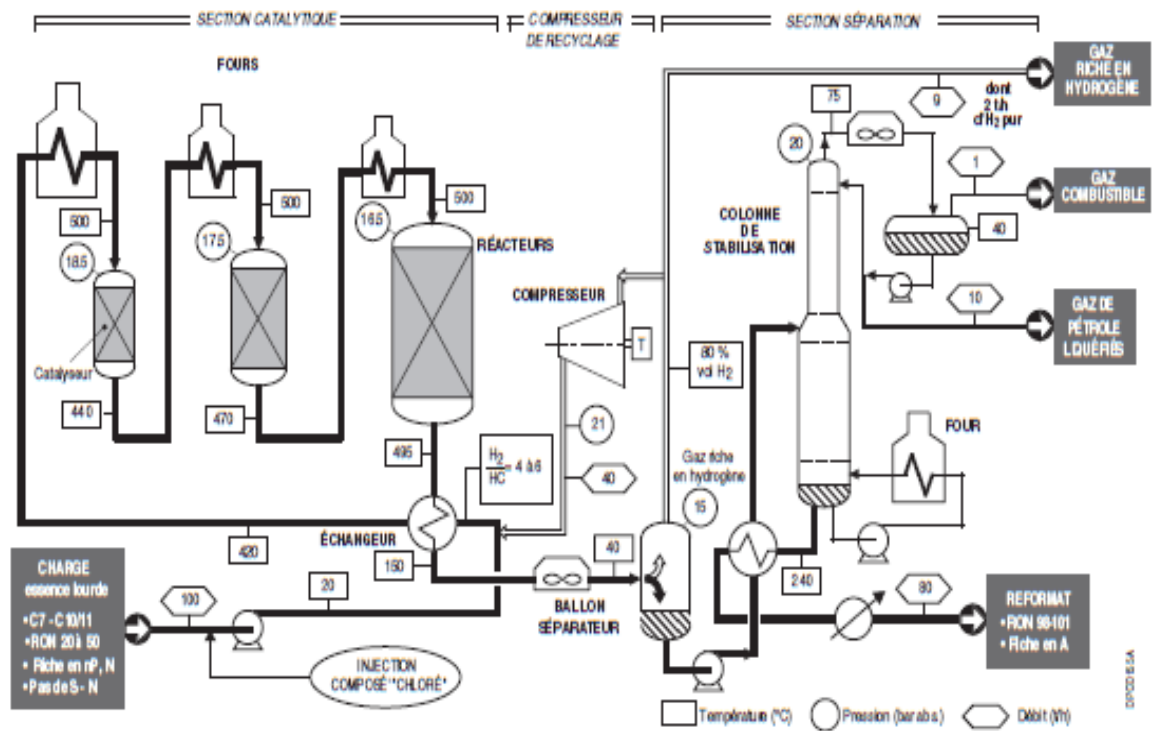


Figure III.3 : Schéma du procédé semi-régénératif [8].

CHAPITRE IV

CALCUL DE VERIFICATION ET MESURE DE L'INDICE D'OCTANE PAR MOTEUR CFR

IV.1. Problème de l'indice d'octane des essences :

L'indice d'octane est une propriété essentielle des carburants autos. Elle caractérise l'aptitude du carburant à brûler correctement dans un moteur à allumage commandé. Elle détermine les qualités de combustion du carburant et ces conditions optimales d'utilisation et elle étroitement associée à la notion de rendement. Le rendement thermodynamique du cycle du moteur croit lorsque l'on augmente le taux de compression, c'est-à-dire le rapport du volume du cylindre lorsque le piston est au point mort bas à celui correspondant au point mort haut. Mais il existe une limite supérieure à cet accroissement du taux de compression, limite au-delà de laquelle le rendement décroît avec apparition d'un bruit de cognement métallique appelé cliquetis (Knock).

La combustion du mélange air-essence, initiée par l'étincelle de la bougie, se propage en ondes concentriques avec une vitesse d'avance du front de flamme de l'ordre de quelques mètres par seconde. Le front de flamme en se développant comprime la partie encore non brûlée des gaz en élevant sa température. Ces conditions de pression et température élevées sont favorables à la formation des composés suroxygénés instables appelés peroxydes. Lorsque leur concentration

Dans le mélange résiduel imbrûlé atteint une certaine valeur, ils se décomposent brutalement, provoquant une détonation (explosion) caractérisée par une très grande vitesse de propagation de l'onde qui heurte la culasse et la tête du piston avec la force et le bruit d'un coup de marteau (cliquetis).

Les conséquences de ce cliquetis sont d'ordre mécanique et thermique. La détonation engendre des efforts anormaux sur l'embellage du moteur et des piqûres sur la tête du piston, les moteurs sont en général construits pour résister au cliquetis. Par contre, l'effet thermique est beaucoup plus grave. Le circuit de refroidissement n'est pas calculé pour éliminer la quantité de chaleur libérée brutalement par l'explosion. Le moteur chauffe rendant encore plus favorable les conditions de formation des peroxydes. Le phénomène a tendance à s'entretenir de lui-même. La température peut être telle que les dépôts carbonneux qui existent toujours en particulier sur la tête du piston soient portés au rouge et provoquent ainsi l'auto-allumage par point chaud qui se substitue à la bougie. Le moteur peut continuer à tourner pendant un certain temps quand on coupe le contact. On risque alors le «grippage» (Ralentissement ou arrêt du mouvement de pièces ou organe

Chapitre IV : Calcul de vérification et mesure de l'indice d'octane par moteur CFR

mécanique provoqué par le frottement et la dilatation des surfaces métalliques mal lubrifiées) du moteur par mauvaise lubrification à température élevée. Pour un carburant donné, la détonation est liée à l'architecture du moteur ; elle dépend du coefficient de remplissage du cylindre, de la turbulence, de la forme de la culasse, de l'alésage et de la qualité des bougies (culasse hémisphérique). Pour que les essais soient reproductibles, il est nécessaire de bien préciser les conditions opératoires et en particulier le régime de rotation du moteur qui conditionne dans une certaine mesure la turbulence ainsi que le temps de contact de l'oxygène avec les hydrocarbures.

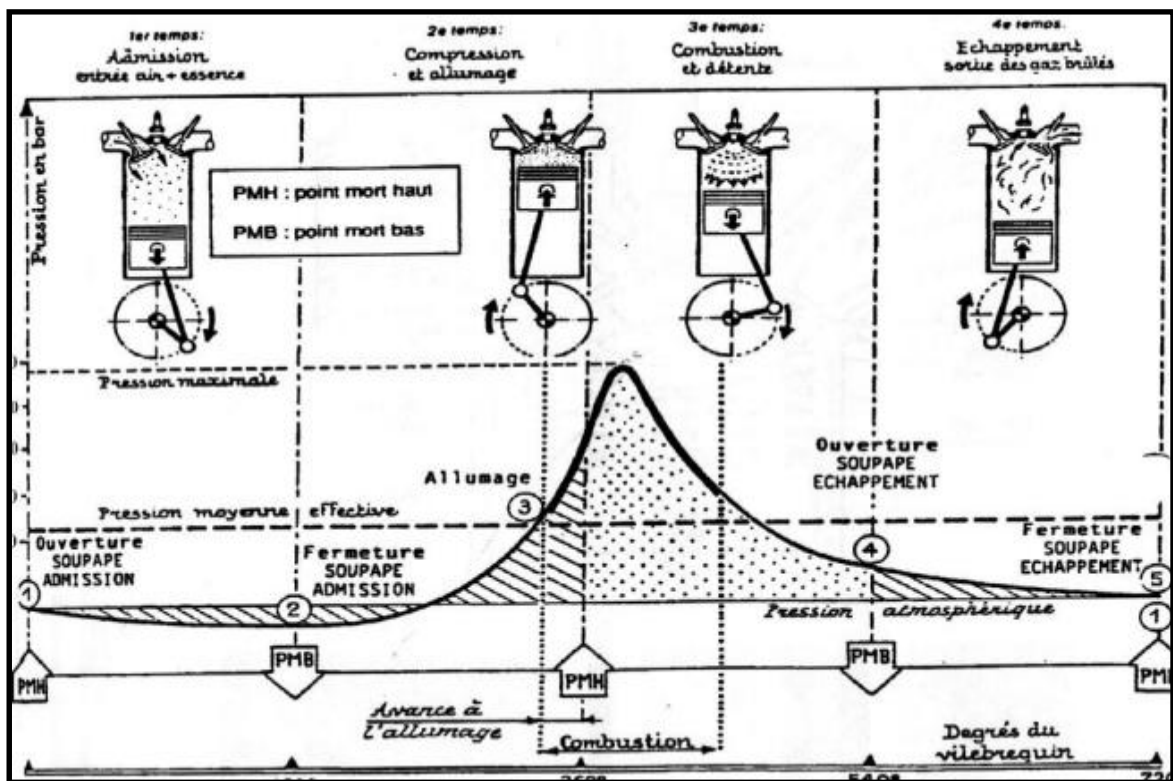


Figure IV.1 : Le principe du cycle d'un moteur à quatre temps et l'évolution de pression dans la chambre de combustion.

Dans des conditions de fonctionnement classique, on peut observer les valeurs suivantes : Durée de la combustion : 1 à 2 millièmes de seconde avance à l'allumage : de 4 à 25 de vilebrequin pression maximale de 35 à 50 bars Le cliquetis est dû à une auto inflammation instantanée, en un point de la chambre de combustion, du carburant au lieu que celui-ci subisse une combustion rapide mais progressive avec une propagation normale du front de flamme issu de l'allumage par l'étincelle de la bougie. Le cliquetis apparaît

Chapitre IV : Calcul de vérification et mesure de l'indice d'octane par moteur CFR

donc dans le mélange carburé qui est atteint en dernier par le front de flamme. Cette partie non encore brûlée, ou charge résiduelle, mélange d'air et de carburant vaporisé, se trouve portée dans des conditions de pression et de température telles qu'elle peut s'auto enflammer brutalement avant d'être atteinte par le front de flamme.

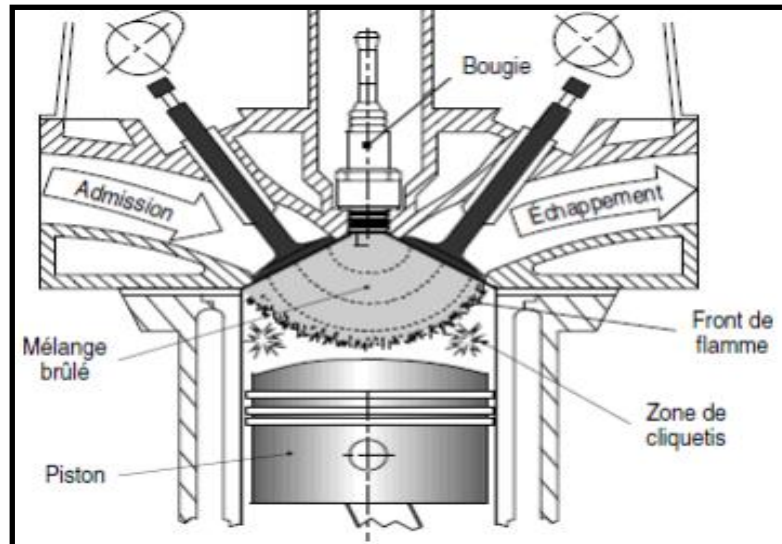


Figure IV.2 Schéma de principe de fonctionnement d'un moteur.

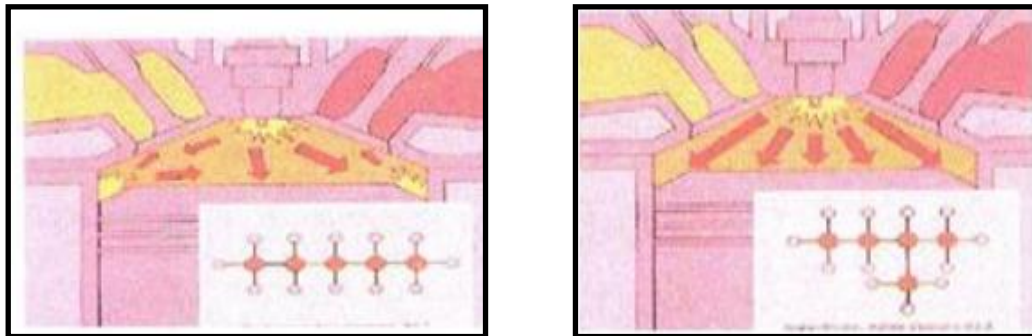


Figure IV.3 : comparaison entre essence normale et essence super

Essence à faible indice d'octane
Processus de combustion incontrôlé
(Détonation) surchauffe et détérioration
Des pièces métalliques
Réduction de la force motrice

Essence à élevé indice d'octane
processus régulier de combustion
front régulier des flammes
utilisation optimale de la
force motrice

IV.2. Calcul de vérification :

De nombreuses études théoriques ont permis de concevoir les réacteurs les plus performants possibles, dans le but d'obtenir pour réaction chimique donnée, le meilleur taux de conversion et la meilleure sélectivité possible.

IV.2.1. Dimensionnement des réacteurs :

Pour un taux de marche de 100 %, le volume de catalyseur chargé dans les quatre réacteurs est de $198 m^3$:

On prévoit un volume de :

$$V_C = \frac{V}{VVH} \dots\dots\dots(IV.1)$$

V_C : Volume de catalyseur m^3

V : Volume de la charge m^3 / h

VVH : Vitesse Spatiale de la charge h^{-1}

$$VVH = 1,006 h^{-1}$$

La capacité de l'unité est de $200 m^3 / h$

Donc :

$$V_C = \frac{200}{1,006} = 198,78 m^3$$

$$V_C = 198,78 m^3$$

IV.2.2. Calcul du volume du catalyseur dans chaque réacteur :

Tableau IV.1 : Pourcentage du catalyseur dans chaque réacteur

Réacteur	1 ^{er}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}
Pourcentage de catalyseur	10 %	15 %	25 %	50 %

✚ Le 1^{er} réacteur (R-202201) :

$$V_{C.1} = \frac{10\% \cdot V_{CT}}{100} = \frac{10 \cdot 198,78}{100} = 19,878 m^3 \qquad V_{C.1} = 19,879 m^3$$

✚ Le 2^{ème} réacteur (R-202202) :

Chapitre IV : Calcul de vérification et mesure de l'indice d'octane par moteur CFR

$$V_{C.2} = \frac{15\% \cdot V_{CT}}{100} = \frac{15 \cdot 198,78}{100} = 29,817m^3$$

$$V_{C.2} = 29,817m^3$$

✚ Le 3^{ème} réacteur (R-202203) :

$$V_{C.3} = \frac{25\% \cdot V_{CT}}{100} = \frac{25 \cdot 198,78}{100} = 49,69m^3$$

$$V_{C.3} = 49,69m^3$$

✚ Le 4^{ème} réacteur (R-202204) :

$$V_{C.4} = \frac{50\% \cdot V_{CT}}{100} = \frac{50 \cdot 198,78}{100} = 99,39m^3$$

$$V_{C.4} = 99,39m^3$$

IV.2.3. Dimensions des réacteurs :

✚ Les diamètres des réacteurs :

Tableau IV.2: Diamètre réel des réacteurs

Réacteur	1 ^{er}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}
Diamètres (m)	2,2	2,2	3,4	5,1

✚ Le 1^{er} réacteur (R202201) :

a) La section de réacteur :

Soit d_1 le diamètre réel du premier réacteur (R202201) ; avec $d_1 = 2,2m$

S_1 : La section de 1^{er} réacteur

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = \frac{\pi \cdot (2,2)^2}{4} = 3,799m^2$$

b) La hauteur de la couche catalytique :

$$H_{C.1} = \frac{V_{C.1}}{S_1} = \frac{19,87}{3,7994} = 5,229m$$

c) Le volume utile :

Le volume utile se détermine d'après la relation suivante :

$$V_{U.1} = \frac{\pi \cdot (d_1^2 - d^2) \cdot H_{U.1}}{4} \dots \dots \dots (IV.2)$$

Avec :

$$d = d_{TC} + e_{TC} + e_{CI}$$

d_{TC} : Diamètre du tube central ; $d_{TC} = 1,080m$

Chapitre IV : Calcul de vérification et mesure de l'indice d'octane par moteur CFR

e_{TC} : Épaisseur du tube central ; $e_{TC} = 0,040m$

e_{CI} : Épaisseur de la couche d'isolation ; $e_{CI} = 0,160m$

$H_{U,1}$: La hauteur de la couche catalytique utile dans le premier réacteur ; $H_{U,1} = 6,923m$

$$d = 1,080 + (2 \cdot 0,160) + 0,040 = 1,44m$$

Donc :

$$V_{U,1} = \frac{\pi \cdot (2,2^2 - 1,44^2) \cdot 6,923}{4} = 15,034m^3$$

✚ Le 2^{ème} réacteur (R202202) :

a) La section de réacteur :

Soit d_2 le diamètre réel du réacteur $d_2 = 2,6m$

S_2 : La section de 2^{ème} réacteur

$$S_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} = \frac{\pi \cdot (2,6)^2}{4} = 5,309m^2$$

b) La hauteur de la couche catalytique :

$$H_{C,2} = \frac{V_{C,2}}{S_2} = \frac{29,817}{5,309} = 5,617m$$

c) Le volume utile :

Le volume utile se détermine d'après la relation suivante :

$$V_{U,2} = \frac{\pi \cdot (d_2^2 - d^2) \cdot H_{U,2}}{4} \dots \dots \dots (IV.3)$$

Avec :

$$d = d_{TC} + e_{TC} + e_{CI}$$

d_{TC} : Diamètre du tube central ; $d_{TC} = 1,080m$

e_{TC} : Épaisseur du tube central ; $e_{TC} = 0,040m$

e_{CI} : Épaisseur de la couche d'isolation ; $e_{CI} = 0,160m$

$$d = 1,080 + (2 \cdot 0,160) + 0,040 = 1,44m$$

$H_{U,2}$: La hauteur de la couche catalytique utile dans le premier réacteur

$$H_{U,2} = H_{U,2} + H_{Zna} + H_{eq} \dots \dots \dots (IV.4)$$

H_{Zna} : La hauteur de la zone non active

H_{eq} : La hauteur d'autre équipement

$$H_{Zna} + H_{eq} = 2,6m$$

$$H_{U.2} = 5,616 + 2,6 = 8,20m$$

Donc :

$$V_{U.2} = \frac{\pi \cdot (2,2^2 - 1,44^2) \cdot 8,20}{4} = 17,807m^3$$

$$V_{U.2} = 17,807m^3$$

✚ Le 3^{ème} réacteur (R202203) :

a) La section de réacteur :

Soit d_2 le diamètre réel du réacteur $d_3 = 3m$

S_3 : La section de 3^{ème} réacteur

$$S_3 = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} = \frac{\pi \cdot (3,4)^2}{4} = 9,074m^2$$

b) La hauteur de la couche catalytique :

$$H_{C.3} = \frac{V_{C.3}}{S_3} = \frac{49,695}{9,0746} = 5,476m$$

c) Le volume utile :

Le volume utile se détermine d'après la relation suivante :

$$V_{U.3} = \frac{\pi \cdot (d_3^2 - d^2) \cdot H_{U.3}}{4} \dots\dots\dots(IV.5)$$

Avec :

$(d_3^2 - d^2)$: Diamètre utile

$$d = d_{TC} + e_{TC} + e_{CI}$$

d_{TC} : Diamètre du tube central ; $d_{TC} = 1,080m$

e_{TC} : Épaisseur du tube central ; $e_{TC} = 0,040m$

e_{CI} : Épaisseur de la couche d'isolation ; $e_{CI} = 0,160m$

$$d = 1,080 + (2 \cdot 0,160) + 0,040 = 1,44m$$

$H_{U.2}$: La hauteur de la couche catalytique utile dans le premier réacteur

$$H_{U.2} = H_{U.2} + H_{Zna} + H_{eq}$$

H_{Zna} : La hauteur de la zone non active

H_{eq} : La hauteur d'autre équipement

$$H_{Zna} + H_{eq} = 2,352m$$

$$H_{U3} = 7,030 + 2,352 = 9,382m$$

Donc :

$$V_{U.3} = \frac{\pi.(3.4^2 - 1,44^2).9.382}{4} = 22.250m^3$$

$$V_{U.3} = 22.250m^3$$

✚ Le 4^{ème} réacteur (R202204) :

a) La section de réacteur :

Soit d_2 le diamètre réel du réacteur $d_4 = 3,8m$

S_4 : La section de 4^{ème} réacteur

$$S_4 = \frac{\pi.d_4^2}{4} = \frac{\pi.(5.1)^2}{4} = 20.417m^2$$

b) La hauteur de la couche catalytique :

$$H_{C.4} = \frac{V_{C.4}}{S_4} = \frac{99,39}{20.4178} = 4.867m$$

c) Le volume utile :

Le volume utile se détermine d'après la relation suivante :

$$V_{U.4} = \frac{\pi.(d_4^2 - d^2).H_{U4}}{4} \dots\dots\dots(IV.6)$$

Avec :

$(d_4^2 - d^2)$: Diamètre utile

$$d = d_{TC} + e_{TC} + e_{CI}$$

d_{TC} : Diamètre du tube central ; $d_{TC} = 1,080m$

e_{TC} : Épaisseur du tube central ; $e_{TC} = 0,040m$

e_{CI} : Épaisseur de la couche d'isolation ; $e_{CI} = 0,160m$

$$d = 1,080 + (2.0,160) + 0,040 = 1,44m$$

$H_{U.2}$: La hauteur de la couche catalytique utile dans le premier réacteur

$$H_{U.2} = H_{U.2} + H_{Zna} + H_{eq} \dots\dots\dots(IV.7)$$

H_{Zna} : La hauteur de la zone non active

H_{eq} : La hauteur d'autre équipement

Chapitre IV : Calcul de vérification et mesure de l'indice d'octane par moteur CFR

$$H_{Zna} + H_{eq} = 2,567m$$

$$H_{U.2} = 8,763 + 2,567 = 9,382m$$

Donc :

$$V_{U.4} = \frac{\pi.(5.1^2 - 1,44^2).9,382}{4} = 176,288m^3$$

$$V_{U.4} = 176,288m^3$$

Tableau IV.3 : Résultats du calcul

Réacteur	Volume de catalyseur (m ³) (réel)	Volume utile (m ³)	Section du réacteur (m ²)	Hauteur de la couche catalytique (m)
R20202201	19,878	15.034	3.799	5.229
R20202202	29,817	17.807	3.799	7.847
R20202203	49,695	22.250	9.074	5.476
R20202204	99,39	176.288	20.417	4.867

Les résultats de calcul ont été donc obtenus puis comparés aux valeurs réelles des appareils, ces valeurs obtenues sont conformes aux valeurs du design qui n'est pas respecté pour le fonctionnement de cette unité et que la nature de la charge déferait de celle prévue par le design à ce fait tous les autres paramètres varient.

IV.3. Moteur monocylindrique CFR :

Pour déterminer la capacité de résistance au cliquetis d'un carburant donné on utilise un moteur normalisé mis au point par la "Cooperative Fuel Research" (C.F.R.). C'est un moteur monocylindrique tournant à vitesse constante. Pour faire apparaître ou disparaître le cliquetis on peut agir sur le taux de compression variable grâce au déplacement de l'ensemble cylindre-culasse par rapport au bâti du moteur. La mesure du cliquetis est réalisée par un détecteur dont l'extrémité est placée dans la chambre de combustion. Le signal est amplifié et transmis à un appareil de mesure le «Knockmeter».

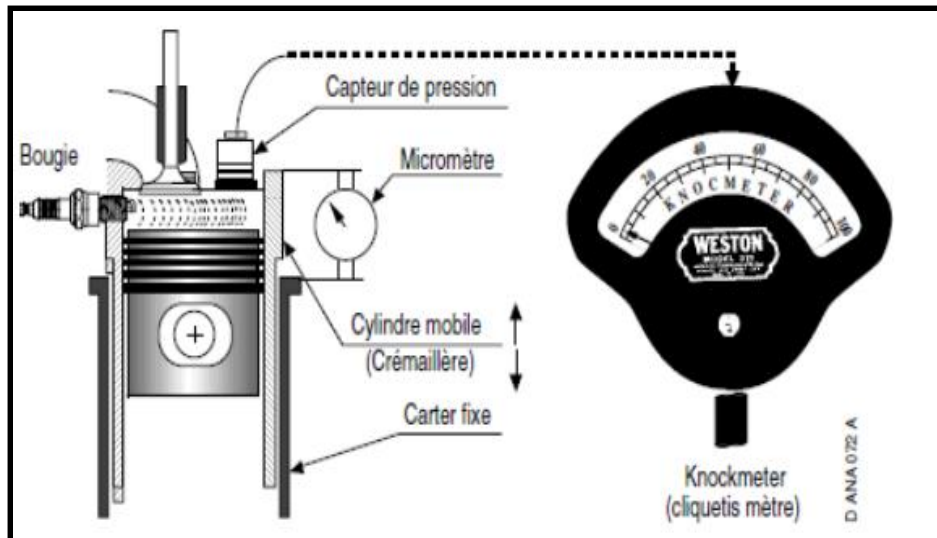


Figure IV.4 : Schéma de principe d'un moteur monocylindrique(CFR)

IV.3. Principe de la mesure :

On constitue un mélange de 2 carburants étalons qui sont :

- l'heptane-normal qui cliquette facilement, auquel on a affecté l'indice d'octane 0.
- l'isooctane (2, 2,4-triméthylpentane) qui a une très bonne résistance au cliquetis, auquel on a attribué l'indice 100.

Par définition l'indice d'octane de ce carburant est donné par le pourcentage volumique d'isooctane dans le mélange de normal-heptane et d'isooctane. On dit ainsi qu'un carburant a un indice d'octane de 96 s'il provoque dans le moteur C.F.R. un cliquetis identique à celui observé pour un mélange de 96 % en volume d'isooctane et de 4 % en volume de normal-heptane.

IV.3.1. Méthodes normalisées (NF M 07-026) :

Deux méthodes principales sont utilisées pour les carburants automobiles. Elles diffèrent notamment par la vitesse de rotation du moteur CFR et par la température du mélange carburé à l'admission.

Chapitre IV : Calcul de vérification et mesure de l'indice d'octane par moteur CFR

IV.3.1.1. Méthode recherche ou F1: indice d'octane recherche (RON) La vitesse de rotation est de 600 Tr/mn et le mélange carburé est admis à température ambiante on obtient ainsi l'indice d'octane recherche.

IV.3.1.2. Méthode moteur ou F2 : indice d'octane moteur (MON) : La vitesse de rotation est de 900 Tr/mn et la température du mélange carburé à l'admission et de l'ordre de 150°C.

IV.3.2. Sensibilité du carburant


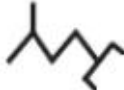
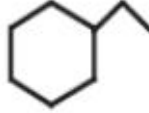
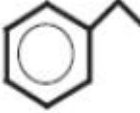

Compte tenu des conditions plus sévères de la mesure, l'indice d'octane moteur est généralement inférieur à l'indice d'octane recherche. La différence RON-MON est appelée sensibilité d'un carburant.

IV.4. Les valeurs relatives des Indice d'octane des hydrocarbures :

Le tableau ci-dessous situe les valeurs relatives des indices d'octane des différentes familles d'hydrocarbures En fonction des proportions respectives des différentes familles chimiques d'hydrocarbures composant les essences, on obtient des coupes d'indices d'octane très variables ainsi :

Les essences lourdes de distillation provenant directement des pétroles bruts sont riches en paraffines normales et contiennent peu d'aromatiques : leur indice d'octane est donc très faible. Par contre les essences de reformage catalytique (réformât) riches en aromatiques ont des indices d'octane très élevés Les essences de craquage catalytique contiennent une proportion notable d'aromatiques ainsi que des oléfines et des hydrocarbures à chaînes ramifiées. Leurs indices d'octane sont donc assez élevés.

Tableau IV.4. Les valeurs relatives des indices d'octane des différentes familles d'hydrocarbures.

	← Existent dans les pétroles bruts →			← Produits dans les craquages →	
	PARAFFINES		NAPHTÈNES	AROMATIQUES	OLÉFINES
	Paraffines normales en chaîne droite	Isoparaffines en chaîne ramifiée			
					
Masse volumique à l'état liquide	faible	faible	moyenne	élevée	faible
Indice d'octane Recherche (RON)	très faible	élevé	moyen	très élevé	assez élevé
Sensibilité	très faible	très faible	faible	élevée	très élevée

IV.5. Réglage du moteur et mesure :

- 1- Observer la pression atmosphérique et noter la correction à appliquer (si nécessaire) pour le réglage de la hauteur du cylindre. Noter la température de chauffage de l'air d'admission.
- 2- Prépare deux carburants de référence (isooctane+Mel80 ou isooctane+n-heptane) de façon à encadrer correctement l'échantillon (ex 94 ; et 96) suivant l'indice d'octane de l'échantillon.
- 3- Remplir la cuve n°1 du carburateur avec le carburant de référence le plus faible (94) et la cuve n°2 avec le carburant de référence le plus fort (96).
- 4- Régler la hauteur micrométrique du cylindre par rapport au carburant de référence ayant l'indice d'octane le plus faible. Ex : $94 = 0.454 \pm$ correction barométrique (si nécessaire).
- 5- Régler la hauteur de cuve n°1 au niveau 1.7. positionner le robinet sélecteur du carbure sur (1) puis attendre la stabilisation de l'aiguille du knockmeter. Agir ensuite ; niveau par niveau ; en remontant la hauteur de la cuve (niveau visible dans la burette graduée

Chapitre IV : Calcul de vérification et mesure de l'indice d'octane par moteur CFR

correspondant à cette cuve) afin d'obtenir une intensité de cliquetis maximum au knockmeter. Quand l'aiguille du knockmeter a atteint sa position maxi et qu'elle tend ensuite à « décrocher » ; revenir sur le niveau de cuve précédent (celui qui a permis d'obtenir la maximum de cliquetis) ; puis régler la position de l'aiguille du knockmeter sur « 50 » (± 2) à l'aide du potentiomètre « Meter Reading » (situé sur la détonation meter).

- 6- Régler la hauteur de cuve n⁰2 au niveau 1.7. positionner ensuite le robinet sélecteur sur « 2 » puis attendre la stabilisation de l'aiguille du knockmeter et Procéder de la même façon que pour la cuve n⁰1 niveau par niveau ; en remontant la hauteur de cuve. Quand l'intensité maxi de cliquetis est atteinte pour la cuve n⁰ 2 ; noter la position de l'aiguille du knockmeter ; sans faire le réglage de cette aiguille sur « 50 ».



Figure IV.4 : Moteur monocylindrique(CFR).

IV.6. Calcul et contrôle du résultat :

Tableau IV.5 : Résultats donnés par le moteur CFR.

	1 ^{er} lecture	2 ^{eme} lecture	moyenne
Echantillon	50	49	49.5
1 ^{er} carburant de référence (94)	69	70	69.5
2 ^{eme} carburant de référence (96)	41	41	41

$$\frac{(Moy \times Ref1 - Moy \times E) \times 2 + IO \times Rrf1}{(Moy \times Ref1 - Moy \times Ref1)} \dots\dots\dots(IV.8)$$

Avec :

IO Ref 1= indice d'octane du carburant de référence le plus faible.

Moy .E = moyenne des lectures du knockmeter pour l'échantillon.

Moy. Ref1= moyenne des lectures du knockmeter pour le carburant de référence le plus faible.

Moy. Ref2= moyenne des lectures du knockmeter pour le carburant de référence le plus fort (96).

2= facteur invariable ; différence des deux points d'indice d'octane des carburants de référence (pour cet exemple).

Calcul final :

$$\frac{(69.5 - 49.5) \times 2}{(69.5 - 41)} \Rightarrow \frac{20 \times 2}{28.5} \Rightarrow \frac{40}{28.5} \Rightarrow 1.4 + 94 = 95.4$$

➤ L'indice d'octane mesuré de l'échantillon est ici de 95.4.

Note :

Si on tient compte des « centièmes » ; 95.44 sera égale à 95.4 et 95.45 sera égal à 95.5.

IV.7. Arrêt du moteur

1. Débloquer le levier d'embase du cylindre (sauf moteurs équipés du variateur électrique de taux de compression).
2. Décompresser le cylindre jusqu'à la valeur de 0.600 au micromètre (581 à l'indicateur digital ; si le moteur est équipé du variateur électrique de taux de compression).
3. Positionner le robinet sélecteur du carburateur entre deux cuves.
4. Couper l'interrupteur de chauffage de l'air admission (AIR HEATER) sur off puis couper l'interrupteur d'allumage (IGNITION) sur off.
5. Placer le piston au point mort haut compression à l'aide du volant moteur ou de la clé spéciale de vilebrequin ; à l'avant du moteur : tourner dans le sens de fonctionnement du moteur jusqu'à obtention d'une « résistance »(compression du cylindre)et à partir de ce moment ;placer la poulie sur 0 ou TDC (TOP DEAD CENTER)face à l'index fixe du

Chapitre IV : Calcul de vérification et mesure de l'indice d'octane par moteur CFR

carter ;ou positionner l'index de la poulie face au capteur magnétique (sous la poulie) si le moteur est équipé de l'indicateur digital d'avance à l'allumage. Dans cette position ; les deux soupapes sont complètement fermer et culbuteurs ne sont plus en contrainte.

6. Fermer la vanne d'arrivée d'eau sur le moteur (sauf circuit d'eau de refroidissement équipé d'une électrovanne commandée par la mise en marche du moteur).
7. Vidanger les cuves du carburateur.

IV.8. Conditions opératoires du moteur CFR

Vitesse du moteur : 600 ± 6 tr/mn (vitesse non ajustable).

Température d'huile carter : 135 ± 15 °F (57 ± 8 °C).

Pression d'huile : 25 à 30 psi (1.7 à 2.1 bar).

Température eau de refroidissement cylindre : 212 ± 3 °F (100 ± 2 °C).

Température air admission : variable suivant pression atmosphérique.

CONCLUSION GENERALE

À l'origine, le but du reformage catalytique était essentiellement la transformation de coupes pétrolières à faible indice d'octane (40 à 60), couramment appelées naphthas, en bases pour carburant à haut indice d'octane. Cette amélioration de l'indice d'octane résultant essentiellement d'une forte augmentation de la teneur en aromatiques, on envisagea l'utilisation du procédé pour la production de ceux-ci.

On opérait alors, dans des conditions particulières, sur une coupe d'essence sélectionnée, en vue de produire plus spécifiquement des hydrocarbures destinés à la chimie. La recherche d'un indice d'octane élevé (90 à 100) liée à la teneur en aromatiques des reformats et à la sévérité du traitement a conduit à des conditions de fonctionnement et à des résultats sensiblement analogues pour le reformage catalytique.

Nous avons profité de l'expérience que nous avons vécue dans la raffinerie d'Adrar et notre compréhension de toutes les choses liées à l'amélioration de la qualité de l'essence et savons tous les facteurs qui font l'objet d'une unité reformage catalytique et doit être réalisé pour assurer la continuité et la qualité de son offre dans l'essence. Refléter plus de matériel de la demande d'essence, ce qui rend la raffinerie d'Adrar désireux de la continuité de la production d'essence. Ce produit d'équations chimiques qui se produisent dans cette réacteur Nous fournissons toutes les conditions pour assurer le domaine de la livre à l'indice d'octane élève.

Les résultats de calcul ont été donc obtenus puis comparés aux valeurs réelles des appareils, ces valeurs obtenues sont conformes aux valeurs du design qui n'est pas respecte pour le fonctionnement de cette unité et que la nature de la charge déferait de celle prévue par le design à ce fait tous les autres paramètres varient.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Règlement technique installation de Reformage catalytique.
- [2] Revue de l'IFP Mars 1998.
- [3] Raffinage du pétrole : exploitation et gestion d'une raffinerie (tome 5).
- [4] Raffinage du pétrole : Moscou 1972 Tchournajoukov.
- [5] Whuitier Tomes 1 et 2 Paris 1972.
- [6] Raffinage du pétrole : procédés de transformations Tome 3.
- [7] Larousse du pétrole 1978.
- [8] Carburants et moteurs Tome 1.
- [9] Xavier Norman : Leçons sommaire du raffinage.
- [10] Gaz naturel dans le monde pétrole et techniques 2000
- [11] Site de recherche google : www.naphta-reforming.com
- [12] Revue de Naftal 2001.
- [13] Chimie des hydrocarbures G.Lefevre 1978.
- [14] Minéralogie des argiles 1996.

ANNEXES

Annexe 1: Indices d'octane RON et MON d'hydrocarbures purs

Hydrocarbures	RON	MON
<i>Paraffines</i>		
Méthane	> 100	110.0
Éthane	> 100	104.0
Propane	> 100	100.0
n-Butane	> 100	99.0
2-Méthylpropane	61.7	61.9
n-Pentane	92.3	90.3
2-Méthylbutane	85.5	80.2
2,2-Diméthylpropane	24.8	26.0
n-Hexane	73.4	73.5
2-Méthylpentane	74.5	74.3
3-Méthylpentane	91.8	93.4
2,2-Diméthylbutane	103.5	94.3
2,3-Diméthylbutane	0.0	0.0
n-Heptane	42.4	46.4
2-Méthylhexane	52.0	55.0
3-Méthylhexane	65.0	69.3
3-Ethylpentane	92.8	95.6
2,2-Diméthylpentane	91.1	88.5
2,3-Diméthylpentane	83.1	83.8
2,4-Diméthylpentane	80.8	86.6
3,3-Diméthylpentane	112.1	101.3
2,2,3-Triméthylbutane	< 0	< 0
n-Octane	21.7	23.8
2-Méthylpentane	26.8	35.0
3-Méthylpentane	26.7	39.0
4-Méthylpentane	33.5	52.4
3-Ethylhexane	72.5	77.4
2,2-Diméthylhexane	71.3	78.9
2,3-Diméthylhexane	65.2	69.9
2,4-Diméthylhexane	55.2	55.7
2,5-Diméthylhexane	75.5	83.4
3,3-Diméthylhexane	76.3	81.7
3,4-Diméthylhexane	108.7	99.9
2,2,3-Triméthylpentane	100.0	100.0
2,2,4-Triméthylpentane	106.1	99.4
2,3,3-Triméthylpentane	102.7	95.9
2,3,4-Triméthylpentane	87.3	88.1
2-Méthyl-3-éthylpentane	80.8	88.7
3-Méthyl-3-éthylpentane	< 0	< 0
n-Nonane et n-alcanes supérieurs		

Annexe 2 : Indices d'octane RON et MON d'hydrocarbures purs. (Suite)

Hydrocarbures	RON	MON
<i>Oléfines</i>		
Ethylène	100.0	81.0
Propylène	102.0	85.0
But-1-ène	–	80.0
But-2-ène	100.0	83.0
Pent-1-ène	90.9	77.1
Pent-2-ène	98.0	80.0
2-Méthylbut-1-ène	102.5	81.9
2-Méthylbut-2-ène	97.3	84.7
Hex-1-ène	76.4	63.4
Hex-2-ène	92.7	80.8
Hex-3-ène	94.0	80.1
2-Méthylpent-1-ène	95.1	78.9
3-Méthylpent-1-ène	96.0	81.2
4-Méthylpent-1-ène	95.7	80.9
2-Méthylpent-2-ène	97.8	83.0
3-Méthylpent-2-ène	97.2	81.0
4-Méthylpent-2-ène	99.3	84.3
2-Ethylpent-1-ène	98.3	79.4
3,3-Diméthylbut-1-ène	111.7	93.5
2,3-Diméthylbut-2-ène	97.4	80.5
2,3-Diméthylbut-1-ène	101.3	82.8
Hept-1-ène	54.5	50.7
Hept-2-ène	73.4	68.8
Hept-3-ène	89.8	79.3
Méthylhex-1-ène	90.7	78.8
3-Méthylhex-1-ène	82.2	71.5
4-Méthylhex-1-ène	86.4	74.0
5-Méthylhex-1-ène	75.5	64.0
2-Méthylhex-2-ène	90.4	78.9
3-Méthylhex-2-ène	91.5	79.6
4-Méthylhex-2-ène	96.8	83.0
5-Méthylhex-2-ène	94.5	81.0
2-Méthylhex-3-ène	96.4	81.4
3-Ethylpent-1-ène	95.6	81.6
3-Ethylpent-2-ène	93.7	80.6
2,4-Diméthylpent-1-ène	99.2	84.6
4,4-Diméthylpent-1-ène	104.4	85.4
2,3-Diméthylpent-1-ène	99.3	84.2
2,3-Diméthylpent-2-ène	97.5	80.0
2,4-Diméthylpent-2-ène	100.0	86.0
Oct-1-ène	28.7	34.7
Oct-2-ène	56.3	56.5
Oct-3-ène	72.5	68.1
Oct-4-ène	73.3	74.3
Diisobutylène	105.3	88.6
2-Méthylhept-1-ène	70.2	66.3
2-Méthylhept-3-ène	94.4	80.4
2,3-Diméthylhex-1-ène	96.3	83.6
2,2-Diméthylhex-3-ène	103.5	89.0
2,4,4-Triméthylpent-1-ène	106.0	86.5

Annexe 2 : Indices d'octane RON et MON d'hydrocarbures purs. (Suite & fin)

Hydrocarbures	RON	MON
<i>Naphtènes</i>		
Ethylcyclopropane	102.5	83.9
Ethylcyclobutane	41.1	63.9
Méthylcyclopentane	91.3	80.0
Ethylcyclopentane	67.2	61.2
Propylcyclopentane	31.2	28.1
1,1-Diméthylcyclopentane	92.3	89.3
(Z)-1,3-Diméthylcyclopentane	79.2	73.1
(E)-1,3-Diméthylcyclopentane	80.6	72.6
1,1,3-Triméthylcyclopentane	87.7	83.5
Cyclohexane	83.0	77.2
Méthylcyclohexane	74.8	71.1
(Z)-1,3-Diméthylcyclohexane	71.7	71.0
(E)-1,3-Diméthylcyclohexane	66.9	64.2
<i>Dioléfines et cyclènes</i>		
Cyclopentène		
Cyclohexène	93.3	69.7
Méthylcyclopentène	83.9	63.0
3-Méthylbuta-1,2-diène	93.6	72.9
2-Méthylbuta-1,3-diène	61.0	42.4
Cyclopenta-1,3-diène	99.1	81.0
Cyclohexa-1,3-diène	103.5	86.1
	74.8	53.0
<i>Aromatiques</i>		
Benzène	-	114.8
Toluène	120.0	103.5
Éthylbenzène	107.4	97.9
	-	100.0
1,2-Diméthylbenzène (<i>o</i> -xylène)	117.5	115.0
1,3-Diméthylbenzène (<i>m</i> -xylène)	116.4	109.6
1,4-Diméthylbenzène (<i>p</i> -xylène)	111.0	98.7
n-Propylbenzène	113.1	99.3
Isopropylbenzène (cumène)	102.5	92.1
1-Méthyl-2-éthylbenzène	112.1	100.0
1-Méthyl-3-éthylbenzène	-	97.0
1-Méthyl-4-éthylbenzène	105.3	100.8
1,2,3-Triméthylbenzène	110.5	106.0
1,2,4-Triméthylbenzène	> 120	120.0
1,2,5-Triméthylbenzène	104.4	95.3
n-butylbenzène	111.4	98.0
Isobutylbenzène	> 115.5	97.0
1,3Diéthylbenzène	106.0	96.4
1,4Diéthylbenzène	103.5	92.2
1-Méthyl-2-n-Propylbenzène	112.1	100.5
1-Méthyl-3-n-Propylbenzène	106.0	96.0
1-Méthyl-2-isopropylbenzène	110.5	97.7
1-Méthyl-4-isopropylbenzène	104.4	91.9
1,2-Diméthyl-3-éthylbenzène	106.0	95.9
1,3-Diméthyl-4-éthylbenzène	114.8	102.5
1,3-Diméthyl-5-éthylbenzène	106.0	96.0
1,4-Diméthyl-2-éthylbenzène	105.3	100.3
1,2,3,4-Tétraméthylbenzène	-	102.5
1,2,3,5-Tétraméthylbenzène	103.5	89.8

Annexe 3 : Guide Tableau d'indice d'octane standard Konk. oar moteur CFR rafferme d'Adrar

Guide Table for standard knock intensity at standard barometric pressure 760 mm mercury
Digital Counter Readings for Research Octane Numbers

研究 发 辛 烷 值	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	研究 发 辛 烷 值
	数字读数器标度 Digital counter readings										
80...	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	...80
81...	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	...81
82...	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	...82
83...	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	...83
84...	650	651	652	653	654	656	657	658	659	660	...84
85...	661	663	664	666	667	668	669	670	671	672	85...
86...	673	674	675	677	678	680	681	682	683	684	...86
87...	685	687	688	689	691	692	694	695	697	698	...87
88...	699	700	701	702	704	705	706	708	709	711	...88
89...	712	713	715	716	718	719	721	722	723	725	...89
90...	726	728	729	730	732	733	735	736	736	739	...90
91...	740	742	743	744	746	747	749	750	750	753	...91
92...	756	757	759	760	761	763	764	766	766	768	...92
93...	770	772	774	776	778	780	781	783	783	785	...93
94...	787	789	791	793	795	797	799	801	801	804	...94
95...	805	807	809	811	812	814	816	818	820	822	...95
96...	824	826	828	830	832	835	837	839	841	843	...96
97...	845	847	849	852	854	856	858	860	862	864	...97
98...	867	870	873	875	877	880	883	885	888	891	...98
99...	893	895	898	900	903	906	909	912	915	917	...99
100...	919	924	925	928	932	936	939	940	944	949	...100
101...	950	953	957	960	964	967	969	973	976	980	...101
102...	983	986	987	990	994	997	1000	1003	1005	1008	...102
103...	1011	1014	1017	1019	1022	1025	1028	1031	1034	1036	...103
104...	1039	1042	1043	1045	1048	1050	1052	1055	1057	1058	...104
105...	1062	1063	1065	1067	1070	1073	1074	1076	1079	1080	...105
106...	1081	1084	1086	1087	1090	1091	1093	1094	1097	1098	...106
107...	1100	1101	1103	1104	1105	1107	1110	1111	1112	1114	...107
108...	1115	1117	1118	1120	1121	1122	1124	1125	1127	1128	...108
109...	1131	1132	1134	1135	1136	1138	1139	1141	1142	1142	...109
110...	1145	1146	1148	1148	1149	1151	1152	1153	1155	1165	...110
111...	1158	1159	1160	1162	1163	1165	1166	1167	1167	1169	...111
112...	1170	1172	1173	1175	1176	1177	1179	1180	1182	1183	...112
113...	1184	1186	1186	1187	1189	1189	1191	1193	1194	1196	...113
114...	1197	1197	1199	1200	1201	1203	1204	1206	1207	1208	...114
115...	1208	1210	1211	1213	1214	1215	1218	1220	1221	1222	...115
116...	1224	1225	1227	1228	1230	1232	1234	1235	1237	1238	...116
117...	1239	1241	1242	1244	1245	1246	1249	1251	1252	1253	...117
118...	1255	1256	1258	1259	1260	1262	1265	1266	1268	1269	...118
119...	1270	1272	1273	1275	1276	1277	1280	1282	1283	1285	...119

Annexe 4 : Guide Tableau d'indice d'octane standard Konk. Par moteur CFR raffinerie D'Adrar.

Guide Table for standard knock intensity at standard Barometric Pressure $P = 760$ in Venturi
 Digital Counter Readings for Research Octane Numbers

研究 发 辛 烷 值	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	研 究 发 辛 烷 值
	数字计数器标度 Digital Counter Readings										
40...	357	357	357	357	358	359	359	359	360	360	...40
41...	361	361	361	362	362	363	363	363	364	364	...41
42...	364	365	365	366	366	366	367	367	368	368	...42
43...	368	369	369	370	370	370	371	371	372	372	...43
44...	373	373	373	374	374	375	375	375	376	376	...44
45...	377	377	378	378	379	379	380	380	381	382	...45
46...	382	383	383	384	384	385	385	386	386	387	...46
47...	387	388	388	389	389	389	390	390	390	380	...47
48...	391	391	392	392	393	393	394	395	395	396	...48
49...	396	397	397	398	399	399	400	400	401	492	...49
50...	402	403	403	404	404	405	405	406	406	406	...50
51...	407	408	408	409	410	410	411	411	412	412	...51
52...	412	413	413	414	414	415	415	416	417	417	...52
53...	418	418	419	419	420	420	421	422	422	423	...53
54...	423	424	424	425	426	426	427	427	428	428	...54
55...	429	429	430	430	431	432	432	433	433	434	...55
56...	435	435	436	436	437	437	438	439	439	440	...56
57...	440	441	441	442	442	443	443	444	444	445	...57
58...	446	446	447	448	448	449	449	450	450	451	...58
59...	451	452	453	453	454	454	455	455	456	457	...59
60...	457	458	458	459	460	460	461	461	462	462	...60
61...	463	464	465	465	466	467	467	468	469	470	...61
62...	470	471	471	472	472	473	474	474	475	475	...62
63...	476	477	478	478	478	479	479	480	481	481	...63
64...	482	483	484	484	485	485	486	486	487	488	...64
65...	488	489	490	491	491	492	492	493	494	495	...65
66...	495	496	497	498	498	499	500	501	501	502	...66
67...	502	503	503	504	505	506	507	508	508	509	...67
68...	509	510	510	511	512	513	513	514	515	515	...68
69...	516	517	517	518	519	519	520	520	521	522	...69
70...	523	524	525	525	526	526	527	527	528	529	...70
71...	530	531	532	532	533	533	534	534	535	536	...71
72...	537	538	539	539	540	540	541	542	543	544	...72
73...	545	546	546	547	548	548	549	550	551	552	...73
74...	553	554	554	555	556	557	558	559	560	560	...74
75...	561	562	563	564	565	566	567	567	568	569	...75
76...	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	...76
77...	580	581	581	582	583	584	585	586	587	588	...77
78...	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	...78
79...	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	...79

Résumé

L'objectif de ce travail est d'étudier les procédés d'amélioration de l'indice d'octane au niveau de la raffinerie d'Adrar RA1D. Cette dernière joue un rôle important dans la production de gaz ; essence et diesel pour répondre aux besoins de la région sud-ouest de l'Algérie (Adrar, Béchar, Tindouf et Tamanrasset). L'unité de reformage catalytique (U202) est la base de la raffinerie d'Adrar, qui s'intéresse à augmenter et améliorer la qualité de l'essence pour avoir un indice d'octane élevé (NO=96). Le calcul de vérification de dimension des quatre (4) réacteurs (volume, hauteur et surface de la couche catalytique) a donné des résultats qui sont en accord au design ce qui montre le bon fonctionnement de l'unité. Une analyse de l'essence super a été effectuée par le moteur CFR et montre que ce dernier a un indice d'octane de 95,4.

Mots-clés: Indice d'octane, Reformage catalytique, Raffinerie d'Adrar, Moteur CFR.