



## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : **GÉNIE DES PROCÉDÉS**

Option : **GÉNIE CHIMIQUE**

### THÈME

**Valorisation de l'isopentane pour augmenter la production de  
l'essence sans plomb au niveau de RHM2**

Présenté par

1-BELKAFOUF Ikram

2-CHIGUER Zohra Manal

Soutenu le 05 /06 / 2024 devant le jury composé de :

**Présidente :** DRIOUCH Aouatef MCA Université de Mostaganem

**Examinatrice :** BESSAHA Fatiha MCA Université de Mostaganem

**Rapporteure :** BENHOURIA Assia MCA Université de Mostaganem

**Année Universitaire 2023/2024**

# *Remerciement*

Avant tout, nous remercions Dieu, le tout puissant, de nous avoir aidés et éclairés le chemin pour la réalisation de ce modeste travail.

C'est avec un plaisir particulier que nous remercions Madame Dr. BENHOURIA Assia, qui a suivi de près notre travail et pour son aide et sa disponibilité.

Nous tenons à remercier les membres jury, Dr. DRIOUCH Aouatef et Dr. BESSAHA Fatiha, D'avoir accepté d'examiner la qualité de ce travail.

Nous remercions très vivement l'équipe de la raffinerie de Hassi Messaoud pour avoir rendu possible la réalisation de ce mémoire de master. Leur accueil chaleureux, leur expertise et leur disponibilité ont grandement enrichi notre expérience et nos connaissances dans le domaine de la raffinerie et de l'industrie pétrolière.

Nous souhaitons particulièrement remercier Mrs OUSSAMA, AFLAH, WALID, Mmes CHAHRAZED, SIHEM, DJAWIDA, MOUNA pour leur soutien constant, leurs conseils éclairés et leur patience lors des échanges techniques.

Nous remercions très chaleureusement toutes les personnes ayant contribué, De près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

# *Dédicaces*

Je dédie mon humble travail À tous nos amis, les étudiants palestiniens martyrs, notamment mon cher collègue  
Mohammed Abu Kmeil.

À mes parents en reconnaissance de toute une vie de labeur  
afin de me protéger du besoin.

À mon cher frère Nabil et à ma chère sœur Nour El Houda,  
votre présence, vos conseils et votre compréhension ont  
rendu ce voyage non seulement possible, mais aussi  
enrichissant et significatif.

À ma chère tante Noria et à son mari Pr. Benchehida  
Mansour, qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de  
mon parcours scolaire et universitaire.

À tous les jeunes optimistes qui aspirent à une Algérie  
meilleure.

**JKRAM**

# *Dédicaces*

A ma très chère mère, ma raison de vivre, celle qui m'a  
Soutenue jusqu' à la fin, qui a consacré tout  
Les moyens pour y arriver, avec son grand amour et son aide  
Inestimable.

A mon cher frère, il sera inchallah heureux et fière de  
Ce modeste travail.

« Que dieu vous Protège »

Je tiens à le dédier à ma Grand-Mère et Cher oncle  
A toute ma famille, cet ensemble de personnes qui forment  
Comme une forteresse au fond de nous et où l'on peut se  
réfugier à tout moment.

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

**MANAI**

## Résumé

La présente étude concerne la valorisation de l'isopentane (IC-5), pour l'amélioration de la production de l'essence sans plomb (ESS-SP) au niveau de la raffinerie Algérienne de Hassi Messaoud. Nous nous sommes particulièrement intéressés à l'effet d'IC-5 sur les caractéristiques physicochimiques de ESS-SP. Cela en mesurant la tension de vapeur Reid (TVR), l'indice d'octane (RON) et la densité des mélanges selon les méthodes d'essai standard ASTM D 323, ASTM D2699 et ASTM D1298, respectivement. La procédure de la valorisation a été faite selon des normes et des règlements algériens utilisés au niveau de la raffinerie de Hassi Messaoud afin d'améliorer la qualité de l'essence produite. Les résultats trouvés montrent que l'ajout d'IC-5 à l'ESS-SP devrait atteindre un maximum de 7% du volume final du mélange afin de respecter les exigences de conformité et pour garantir une productivité optimale tout en maintenant la qualité de l'ESS-SP.

**Mots clés :** valorisation, isopentane, Essence sans plomb, tension de vapeur Reid, indice d'octane, densité.

## Abstract

This study concerns the valorization of isopentane, (IC-5), for improving the production of gasoline at the Algerian Hassi Messaoud refinery. We were particularly interested in the effect of IC-5 on the physicochemical characteristics of unleaded gasoline. This is done by measuring the Reid Vapor Pressure (TVR), Octane Number (RON) and density of mixtures according to standard test methods ASTM D 323, ASTM D2699 and ASTM D1298, respectively. The valorization procedure was carried out according to Algerian standards and regulations used at the Hassi Messaoud refinery in order to improve the quality of the gasoline produced. The results found show that the addition of IC-5 to gasoline should reach a maximum of 7% of the final volume of the mixture in order to meet compliance requirements and to guarantee optimal productivity while maintaining the quality of the mixture gasoline.

**Keywords:** valorization, isopentane, Essence, Reid Vapor Pressure, octane number, density

## الملخص

تتعلق هذه الدراسة بتقييم الإيزوبنتان، (IC-5)، لتحسين انتاج بنزين بدون رصاص على مستوى مصفاة بحاسي مسعود الجزائرية. لقد اهتمنا بشكل خاص بتأثير IC-5 على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للبنزين. ويتم ذلك عن طريق قياس ضغط بخار ريد (TVR)، ورقم الأوكتان (RON) وكثافة الخلائط وفقاً لطرق اختبار القياسية ASTM D 323، وASTM D2699، وASTM D1298، على التوالي. تمت عملية التقييم وفقاً للمعايير والأنظمة الجزائرية المعمول بها في مصفاة حاسي مسعود من أجل تحسين جودة البنزين المنتج. أظهرت النتائج المتحصل عليها أن إضافة IC-5 إلى البنزين يجب أن تصل إلى حد أقصى 7% من حجم الخليط النهائي مع احترام متطلبات الامتثال وضمان الإنتاجية المثلى مع الحفاظ على جودة البنزين بدون رصاص.

**الكلمات المفتاحية:** تقييم، بنزين بدون رصاص، إيزوبنتان، ضغط بخار ريد، رقم الأوكتان، كثافة.

# Sommaire

---

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I : Partie théorique</b> .....	<b>3</b>
I.1. Présentation de la nouvelle raffinerie de Hassi Messaoud (RHM-2).....	3
I.1.1. Rappel historique.....	3
I.1.2. Organigramme de Sonatrach à Hassi Messaoud .....	4
I.1.3. Département de raffinage .....	5
I.1.3.1. Définition de raffinage.....	5
I.1.3.2. Service de raffinage .....	6
I.1.3.3. Service de laboratoire .....	7
I.1.4. Description des différentes unités de la RHM2.....	7
I.1.4.1. Unité 200 : Distillation atmosphérique (Topping).....	7
I.1.4.2. Unité 300 : Prétraitement de naphta.....	9
I.1.4.3. Unité 800 : Reformage catalytique .....	9
I.1.4.4. Unité 900 : Stockage et utilités .....	9
I.2. Généralités sur le pétrole brut et les dérivés pétroliers (Essence et Isopentane).....	11
I.2.1. Pétrole brut .....	11
I.2.1.1. Définition du Pétrole brut .....	11
I.2.1.2. Composition du pétrole brut .....	11
I.2.1.3. Propriétés physico-chimiques du pétrole brut.....	12
I.2.2. Essence .....	13
I.2.2.1. Définition des essences .....	13
I.2.2.2. Composition des essences.....	13
I.2.2.3. Types des essences.....	13

# *Sommaire*

---

I.2.2.4. Production des essences .....	14
I.2.2.5. Caractéristique des essences .....	17
I.2.3. L'isopentane .....	18
I.2.3.1. Définition .....	18
I.2.3.2. Propriétés physico-chimiques de l'isopentane.....	18
I.2.3.3. Applications de l'isopentane.....	19
<b>Chapitre II : Partie expérimentale.....</b>	<b>20</b>
II.1. Matériels et méthodes .....	20
II.1.1. Matériels.....	20
II.1.2. Préparation des mélanges essence/isopentane.....	20
II.1.3. Méthodes d'analyse physicochimique .....	21
II.1.3.1. Tension de vapeur Reid (TVR) .....	21
II.1.3.2. Densité .....	23
II.1.3.3. Indice d'octane .....	25
II.1.4. Règlement et normes.....	27
II.2. Résultats et discussions.....	28
II.2.1. Effet de la fraction molaire d'IC-5 sur la tension de vapeur Reid (TVR).....	28
II.2.2. Effet de la fraction molaire d'IC-5 sur la densité et de la température .....	29
II.2.3. Effet de la fraction molaire d'IC-5 sur l'indice d'octane (RON).....	31
Conclusion générale .....	33
Références bibliographiques.....	35

**Liste des figures**

<b>Figure I. 1.</b> La localisation géographique de RHM2.....	4
<b>Figure I. 2.</b> L'organigramme de la direction régionale de Hassi Messaoud.....	4
<b>Figure I. 3.</b> Organigramme de la direction exploitation de RHM2 .....	5
<b>Figure I. 4.</b> Schéma globale des unités de la RHM2. ....	6
<b>Figure I. 5.</b> Laboratoire centrale de RHM2 .....	7
<b>Figure I. 6.</b> Ensemble des hydrocarbures présents dans les pétroles bruts.....	12
<b>Figure I. 7.</b> Schéma de procédés de distillation atmosphérique. ....	14
<b>Figure I. 8.</b> Schéma de procédés de l'unité prétraitement de naphta et reformage catalytique.....	16
<b>Figure I. 9.</b> Forme géométrique de isopentane (2-méthylbutane). ....	18
<b>Figure II. 1.</b> Les mélanges préparés. ....	21
<b>Figure II. 2.</b> Appareil de mesure de la TVR.....	22
<b>Figure II. 3.</b> Schéma d'appareillage de la TVR. ....	22
<b>Figure II. 4.</b> Appareil de la densité.....	23
<b>Figure II. 5.</b> Schéma d'appareillage de la densité. ....	24
<b>Figure II. 6.</b> Moteur CFR .....	25
<b>Figure II. 7.</b> Schéma d'appareillage du moteur CFR. ....	25
<b>Figure II. 8.</b> Mélange isooctane et n-heptane .....	26
<b>Figure II. 9.</b> Variation de la tension de vapeur Reid (TVR)en fonction de la fraction molaire d'IC-5 .....	28
<b>Figure II. 10.</b> Variation de la densité en fonction de la fraction molaire d'IC-5.....	30
<b>Figure II. 11.</b> Variation de la température en fonction de la fraction Molaire d'IC-5. ....	30
<b>Figure II. 12.</b> Variation de l'indice d'octane (RON) en fonction de la fraction molaire d'IC-5 .....	31



**Liste des tableaux**

<b>Tableau I. 1.</b> Les bacs de stockages des produits de RHM2.....	10
<b>Tableau I. 2.</b> Propriétés physico-chimiques du pétrole brut.....	12
<b>Tableau I. 3.</b> Propriétés physico-chimiques de l'isopentane.....	18
<b>Tableau II. 1.</b> Caractéristiques physicochimiques de chaque constituant.....	20
<b>Tableau II. 2.</b> Les fractions molaires de l'essence et de l'isopentane des mélanges. ....	21
<b>Tableau II. 3.</b> Spécifications techniques d'essences. ....	27
<b>Tableau II. 4.</b> Evaluation de la tension de vapeur Reid (TVR) du mélange Essence-IC-5	28
<b>Tableau II. 5.</b> Evaluation de la densité des mélanges Essence-IC-5.....	29
<b>Tableau II. 6.</b> Evaluation de l'indice d'octane (RON) du mélange Essence-IC-5.....	31

## Liste des abréviations

**A.I.E:** Agence internationale de l'énergie.

**A.L.T.E.C:** Société Algérienne d'Engineering.

**A.S.T.M:** American Standards of Technical Material.

**C.F.R:** Cooperative Fuel Research.

**C.I.S:** Centre Industriel Sud.

**D :** Densité.

**$D_4^{15}$ :** densité de la substance à 15°C par rapport à de l'eau à 4°C.

**E.N.G.T.P:** Entreprise Nationale des Grands Travaux Pétroliers.

**ESS-SP :** essence sans plomb.

**G.P.L:** Gaz de Pétrole Liquéfié.

**H.E:** Hydrocarbon Engineering.

**H-M:** Hassi Messaoud.

**IC-5:** Isopentane.

**O.P.E.P:** Organisation des pays exportateurs de pétrole.

**P.O.N.A:** Paraffines, Oléfines, Naphtènes, Aromatiques.

**RHM1 :** Nouvelle Raffinerie Hassi Messaoud 1.

**RHM2 :** Nouvelle Raffinerie Hassi Messaoud 2.

**R.O.N:** Indice d'Octane Rechercher.

**T :** Température.

**T.V.R:** Tension de Vapeur Reid.

# **Introduction**

## **Générale**

## **Introduction générale**

Le pétrole est l'une des ressources énergétiques les plus importantes et les plus utilisées dans le monde. Il est principalement utilisé comme source d'énergie dans les secteurs du transport, de l'industrie et de la production d'électricité, ainsi que dans la fabrication de nombreux produits chimiques et plastiques [1]. Les principaux pays producteurs de pétrole dans le monde sont traditionnellement les membres de l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP), tels que l'Algérie, l'Arabie saoudite, la Russie, les États-Unis, l'Iran, l'Irak, les Émirats arabes unis et le Koweït. Ces pays détiennent une grande partie des réserves pétrolières mondiales et jouent un rôle crucial dans la régulation de l'offre et de la demande de pétrole sur les marchés internationaux [2,3].

Selon l'OPEP, L'Algérie est un important producteur de pétrole. Notre pays possède d'importantes réserves de pétrole brut, dans le bassin d'Ourhoud, le bassin de Berkine, le bassin Hassi Messaoud le bassin de Hassi R'mel et d'autres régions [4,5]. L'industrie pétrolière et gazière est un pilier de l'économie algérienne, contribuant de manière significative aux revenus nationaux et à l'exportation. Le secteur pétrolier algérien est dominé par la compagnie nationale Sonatrach, qui gère la majeure partie de la production pétrolière du pays [6-8].

Selon l'Agence Internationale de l'Energie (AIE), la demande énergétique à l'échelle mondiale, pas seulement en Algérie, est en croissance rapide, et cela en raison de divers facteurs tels que la croissance démographique, l'industrialisation et l'urbanisation [9,10]. À cet égard, il est devenu indispensable de trouver des solutions pour augmenter la production énergétique. Cela est nécessaire pour répondre aux besoins actuels et futurs en énergie. Une des solutions trouvées pour répondre à cette demande croissante en énergie est l'utilisation des hydrocarbures comme des additifs. Ces hydrocarbures sont intégrés dans le processus de production des carburants pour améliorer leurs performances ou leurs caractéristiques [11,12]. Dans ce contexte, la valorisation des hydrocarbures est une procédure essentielle pour améliorer les performances et les caractéristiques des carburants. Ces carburants sont essentiels pour répondre aux besoins de mobilité de la population mondiale, que ce soit pour les véhicules automobiles, les avions ou les navires [13].

L'Algérie possède plusieurs raffineries de pétrole sur son territoire, parmi lesquelles la raffinerie de Hassi Messaoud, où se trouve le plus grand champ pétrolier du pays, qui sert à transformer le pétrole brut en produits finis selon trois types principaux d'opérations : séparation, conversion et amélioration[4,13]. Dans son état actuel, cette raffinerie permet de produire 60 000 tonnes/an de reformat (essence sans plomb), soit une capacité de production de 200 t/j : 100 tonnes/j est livrée en tant qu'essence sans plomb, 80 tonnes est destinée aux opérations sur les puits et 20 t/j pour reconstitution du stock. D'après le service d'approvisionnement, cette raffinerie n'arrive pas à satisfaire le marché de la région sud-est en matière de carburant essence sans plomb.

L'objectif principal de ce travail est d'utiliser un hydrocarbure en tant qu'additif afin d'améliorer la production de l'essence sans plomb. Dans ce contexte, le travail présenté dans ce mémoire concerne la valorisation de l'IC-5 pour l'amélioration de la production de l'essence sans plomb au niveau de la raffinerie Algérienne de Hassi Messaoud. Nous nous sommes particulièrement intéressés à l'effet d'IC-5 sur les caractéristiques physicochimiques de l'essence sans plomb, tel que la tension de vapeur Reid, la densité et l'indice d'octane.

Donc notre travail se présente en deux chapitres :

- Le premier chapitre présente une mise au point bibliographique regroupant un aperçu général sur la nouvelle raffinerie de Hassi Messaoud et une définition sur le pétrole brut et sur ses dérivés pétroliers.
- Le second chapitre regroupe les résultats et discussions concernant les caractérisations physicochimiques des mélanges Essence-IC5.

Enfin, une conclusion générale sera présentée. Elle résumera les principaux résultats obtenus lors de ce travail de mémoire.

# **Chapitre I**

## **Partie théorique**

## **Chapitre I : Partie théorique**

Les principales raffineries d'Algérie, dont la Raffinerie d'Alger, d'Arzew, de Skikda, de Hassi Messaoud et d'Adrar, jouent un rôle crucial dans le processus de conversion du pétrole brut en produits pétroliers raffinés. Ces raffineries suivent les normes et les règlements internationaux à toutes les étapes du processus de raffinage. Grâce à ces installations, l'Algérie peut produire de l'essence, du diesel, du fioul domestique, du bitume, et d'autres produits pétroliers essentiels, répondant ainsi aux besoins du marché intérieur et potentiellement à des fins d'exportation. Dans notre étude, on s'intéresse à la production d'essence au niveau de la nouvelle raffinerie de Hassi Messaoud.

### **I.1. Présentation de la nouvelle raffinerie de Hassi Messaoud (RHM-2)**

#### **I.1.1. Rappel historique**

L'ancienne raffinerie de Hassi Messaoud (RHM1), avec une capacité de 250000 tonnes/an, n'a pas arrivé à satisfaire les besoins locaux. Ainsi, SONATRACH a lancé un projet d'installation d'une nouvelle raffinerie avec une capacité total d'environ 1070000 tonne/an. Cette nouvelle raffinerie de Hassi Messaoud, nommée RHM2, a été construite au sein du complexe industriel sud (CIS) qui est située à 3 km au sud de Hassi Messaoud. La localisation géographique de la RHM2 est illustrée dans la figure I.1.

Le projet de construction de la RHM2 a été lancé en 1976 par deux bureaux d'études : ALTEC (Société Algérienne d'Engineering) et H.E France (Hydrocarbon Engineering). Le montage a été réalisé par ENGTP (Entreprise Nationale des Grands Travaux Pétroliers). Les travaux sur la RHM2 ont été terminés en 1979, avec les unités de distillation atmosphérique et de reformage catalytique réceptionné en Mai et Octobre respectivement [14].



Figure I. 1. La localisation géographique de RHM2 [14].

### I.1.2. Organigramme de Sonatrach à Hassi Messaoud

Selon l'organigramme de la direction régionale de Hassi Messaoud représenté dans la figure ci-dessous, Le siège de Sonatrach est structuré en 5 directions et 6 divisions :

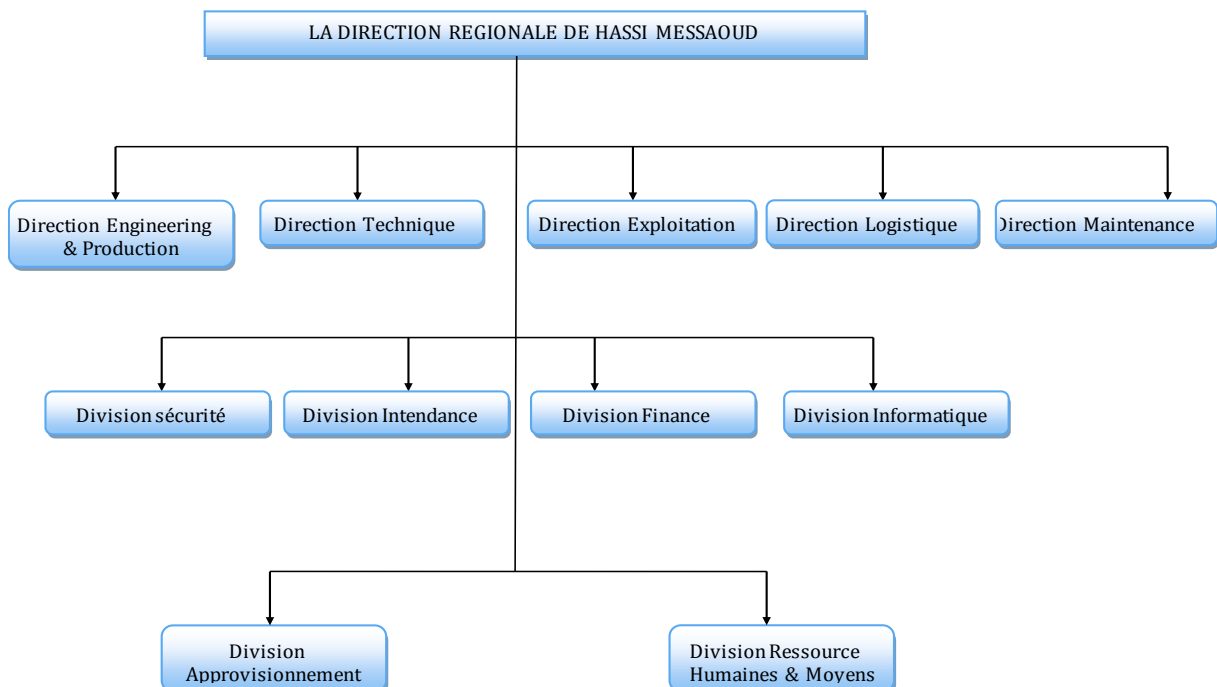


Figure I. 2. L'organigramme de la direction régionale de Hassi Messaoud [14].



La direction d'exploitation, représentée dans la figure I.3, englobe les différents départements chargés de superviser l'ensemble du processus d'exploitation du pétrole brut, depuis son lieu de production jusqu'aux stations de traitement et de stockage. Parmi ces départements, on s'intéresse au département de raffinage qui sert à raffiner le pétrole brut pour la production des carburants [14].

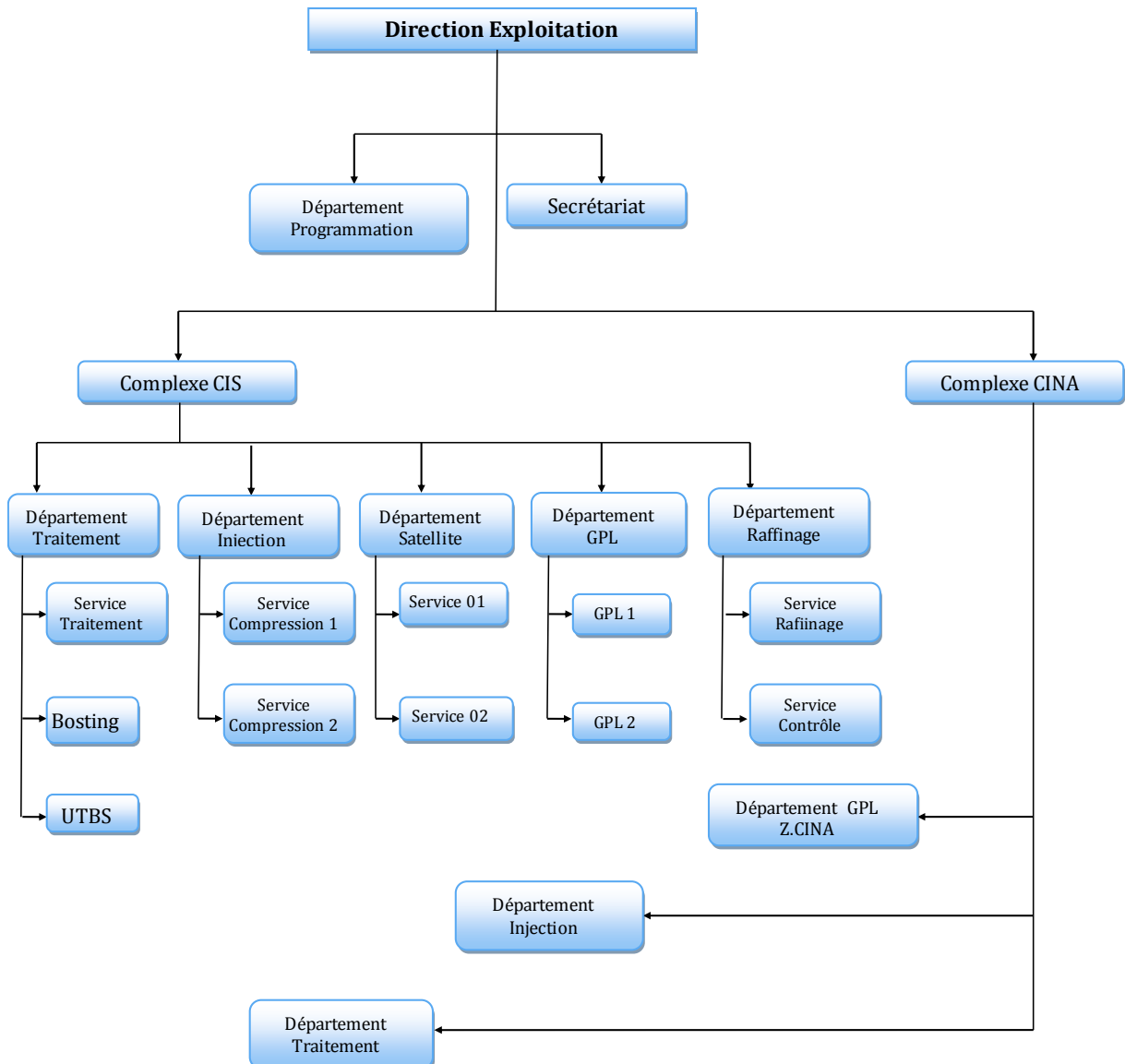


Figure I. 3. Organigramme de la direction exploitation de RHM2 [14].

### I.1.3. Département de raffinage

#### I.1.3.1. Définition de raffinage

Le raffinage est un processus industriel par lequel le pétrole brut est transformé en divers produits pétroliers raffinés, tels que l'essence, le diesel, le fioul domestique, le kérosène, le gazole, le bitume, et d'autres produits dérivés. L'objectif du raffinage est de

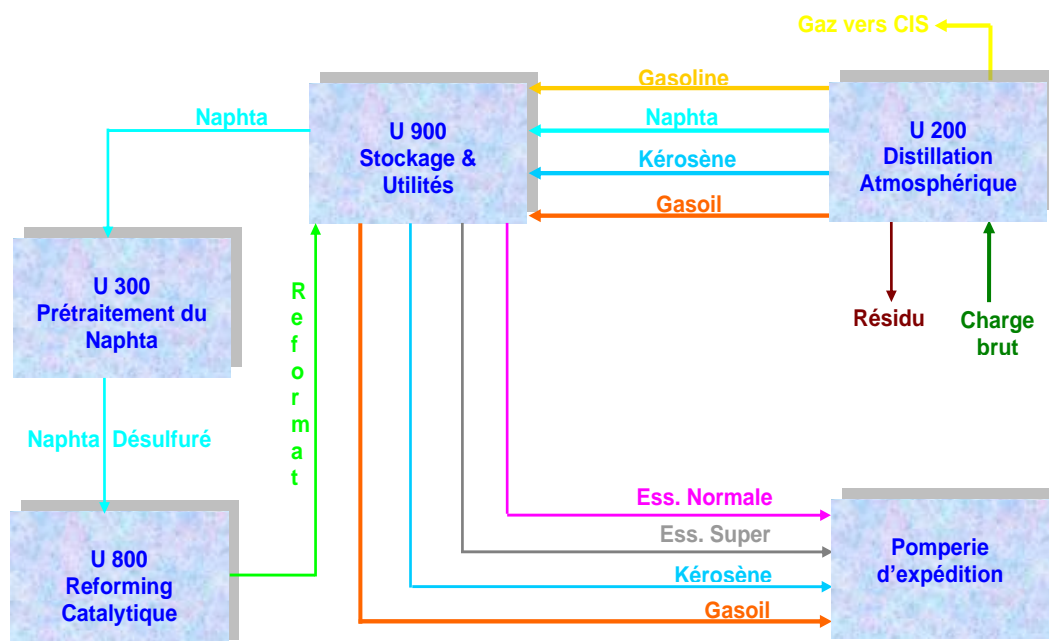
séparer les différents composants du pétrole brut et de les purifier pour obtenir des produits finaux répondant aux normes de qualité. Les spécifications de ces produits sont généralement liées à leur usage. Et parmi les propriétés spécifiques des produits raffinés on cite : le nombre d'octane pour le supercarburant, le nombre de cétane pour le gazole, et les propriétés physiques globales comme la densité, la TVR, la courbe de distillation ... [15,16].

Ce processus comprend différentes étapes telles que la distillation, le craquage, l'hydrotraitement, la reformulation, la désulfuration, et d'autres procédés physicochimiques.

### I.1.3.2. Service de raffinage

Le traitement de pétrole brut dans la RHM2 est réalisé au niveau de quatre unités, représenté dans la figure I.4, ces unités sont :

- Unité 200 : distillation atmosphérique (TOPPING), pour la production des coupes de bases comme la gasoline, naphta, le kérosène et gasoil.
- Unité 300 : prétraitement de naphta, conçue pour débarrasser le Naphta des composés (Azote, Souffre, métaux lourds...) nocifs pour le catalyseur de reforming.
- Unité 800 : reformage catalytique, pour augmenter l'indice d'octane du naphta (reformat), la base pour la fabrication de l'essence sans plomb.
- Unité 900 : stockage et utilités [16].



**Figure I. 4.** Schéma globale des unités de la RHM2 [16].

### I.1.3.3. Service de laboratoire

Le laboratoire central de la RHM2, illustré dans la figure I.5, est crucial pour garantir la qualité des produits pétroliers tout au long du processus de production. Ce laboratoire effectue des tests réguliers sur les matières premières, les produits intermédiaires et les produits finis afin d'assurer que les produits pétroliers produits respectent les normes réglementaires en matière de sécurité, d'environnement et de santé publique. Cela comprend des analyses physiques, chimiques et parfois microbiologiques. Le laboratoire RHM2 s'intéresse aussi aux activités de recherche pour améliorer les processus de production, pour développer de nouveaux produits et pour résoudre les problèmes techniques [17].



**Figure I. 5.** Laboratoire centrale de RHM2 [17].

### I.1.4. Description des différentes unités de la RHM2

#### I.1.4.1. Unité 200 : Distillation atmosphérique (Topping)

Le but principal de l'unité de distillation atmosphérique, représentée dans la figure I.4, est fractionner le pétrole brut en divers produits essentiels de notre vie quotidienne d'une façon importante, (essence, kérosène, GPL ...)

L'unité de distillation atmosphérique se compose principalement de :

Echangeurs de chaleur : ils sont utilisés pour préchauffer le pétrole brut dans le processus de distillation. Ils permettent de transférer de la chaleur de manière efficace entre

les différents fluides, ce qui est essentiel pour l'évaporation et la séparation des composants du pétrole brut [18].

**Four** : il fournit la chaleur nécessaire pour vaporiser le pétrole brut et le préparer à la distillation. Il est généralement alimenté par du gaz naturel, ou d'autres combustibles [18].

**Colonne de distillation atmosphérique** : c'est un l'élément central de l'unité de distillation. Elle sépare le pétrole brut en différentes fractions en fonction de leur point d'ébullition. Les fractions plus légères montent vers le haut de la colonne, tandis que les fractions plus lourdes descendent [18].

**Aéroréfrigérants** : ils refroidissent les vapeurs distillées qui remontent dans la colonne de distillation, permettant ainsi la condensation des fractions plus légères [18].

**Colonne de stabilisation du produit** : elle est utilisée pour stabiliser les fractions distillées en éliminant les composants volatils restants qui pourraient affecter la qualité du produit final. Cela permet de produire des produits finis plus stables et plus sûrs pour le stockage et l'utilisation ultérieurs [18].

Les produits soutirés de l'unité de distillation atmosphérique du pétrole brut sont :

- a) **GPL** (gaz de pétrole liquéfié) : c'est un produit gazeux extrêmement inflammable, soumis à une réglementation spécifique notamment dans leur stockage. Ce produit se compose principalement du propane et de butane, il est couramment utilisé dans le domaine domestique, industriel, agricole ou pour la carburation [19].
- b) **Naphta** : c'est un mélange d'hydrocarbures volatils obtenu à partir de la distillation atmosphérique du pétrole brut. Il est utilisé comme la matière première dans la production des produits pétrochimiques tel que : les composés aromatiques, l'éthylène, et même d'autres oléfines ainsi que l'essence, qui est considéré comme le dérivé le plus connu de naphta. Ce dernier est élaboré par un processus appelés reformage catalytique, qui transforme le naphta lourd en essence [20 ,21].
- c) **Kérosène ou pétrole lampant** : c'est un type de carburant liquide, situé généralement entre le naphta et le gasoil avec une température de distillation entre 150 à 250 °C. Sa composition varie en fonction de : l'origine des pétroles bruts, les méthodes de raffinage ou les procédés utilisés. Ce carburant est utilisé comme un carburéacteur pour l'aviation [21,22].

- d) **Gasoil** : c'est un produit jaune clair, légèrement visqueux, obtenu par le traitement des coupes moyennes du pétrole avec une température de distillation entre 190°C et 300 °C. Ce produit est généralement utilisé dans les moteurs diesel (moteurs thermiques à allumage par compression) [19,23].
- e) **Résidu** : c'est la fraction la plus lourde du pétrole brut, qui n'a pas été vaporisée lors de la distillation atmosphérique. Il est généralement composé de composants à haute masse moléculaire, tels que les hydrocarbures lourds et les impuretés, qui n'ont pas été évaporés ou distillés à des températures élevées. Le résidu est généralement utilisé comme un produit de base pour la production des lubrifiants, des bitumes et des huiles lourdes [24].

### **I.1.4.2. Unité 300 : Prétraitement de naphta**

Cette unité est responsable de la transformation de naphta obtenu par la distillation atmosphérique en un produit plus pur, nommé naphta traité. Cela est fait par l'hydrodésulfuration catalytique. Dans cette opération la charge est désaérée, mélangée à l'hydrogène, préchauffée, puis introduite sous haute pression dans un réacteur catalytique à lit fixe. Ensuite, L'hydrogène est séparé et recyclé [25].

Au cours de cette opération, les composés soufrés et azotés présents dans la charge sont convertis en sulfure d'hydrogène ( $H_2S$ ) et en ammoniac ( $NH_3$ ). Le sulfure d'hydrogène et l'ammoniac résiduels sont enlevés par entraînement à la vapeur, passage dans un séparateur haute et basse pression ou lavage dans une solution d'amines, ce qui permet d'obtenir un mélange très riche en sulfure d'hydrogène dont il est possible d'extraire le soufre élémentaire [25].

### **I.1.4.3. Unité 800 : Reformage catalytique**

Le reformage catalytique est un processus de conversion dans lequel les hydrocarbures linéaires du naphta sont transformés en hydrocarbures aromatiques plus désirables. Ces hydrocarbures aromatiques produits sont des composés précieux qui sont utilisés comme matières premières dans la production d'essence de haute qualité (essence à indice d'octane élevé) appelés reformats [25,26].

### **I.1.4.4. Unité 900 : Stockage et utilités**

L'unité 900 de la RHM2 est utilisée pour le stockage des produits finis. Ces produits sont stockés dans des bacs cylindriques de grand diamètre. Cette unité comporte 16 bacs représentés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau. I. 1.** Les bacs de stockages des produits de RHM2 [18].

<b>BAC</b>	<b>Capacité (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Toit</b>	<b>Contenu</b>
<b>RS 903</b>	2500	Flottant	Reformat
<b>RS 904</b>	2500	Flottant	Gazoline
<b>RS 905</b>	2500	Flottant	Reformat
<b>RS 906</b>	2500	Flottant	Naphta
<b>RS 907</b>	2500	Flottant	Reformat
<b>RS 908</b>	2500	Flottant	Reformat
<b>RS 909</b>	2500	Flottant	Essence normal
<b>RS 910</b>	2500	Flottant	Essence normal
<b>RS 911</b>	2500	Flottant	Reformat
<b>RS 912</b>	2500	Flottant	Reformat
<b>RS 913</b>	2500	Flottant	Kérosène
<b>RS 914</b>	2500	Flottant	Kérosène
<b>RS 915</b>	1600	Fixe	Gasoil
<b>RS 916</b>	1600	Fixe	Gasoil
<b>RS 917</b>	1600	Fixe	Gasoil
<b>RS 918</b>	2520	Flottant	Kérosène

L'unité 900 contient aussi un espace d'utilité, ou elle produit tous les besoins de la raffinerie afin d'assurer le bon fonctionnement de toutes les autres unités. Cet espace contient [18] :

- Le réseau de fuel gaz.
- La production de l'eau distillée.
- La production d'air service et instrument.
- Une chaudière pour la production de la vapeur d'eau.

## **I.2. Généralités sur le pétrole brut et les dérivés pétroliers (Essence et Isopentane)**

### **I.2.1. Pétrole brut**

#### **I.2.1.1. Définition du Pétrole brut**

Le mot Pétrole issu de deux mots latins « Petra » et « oléum » et signifie littéralement « huile de pierre ». C'est un mélange liquide, inflammable, plus ou moins visqueux. Il est constitué principalement par des hydrocarbures et des composés organiques qui se trouvent naturellement dans les formations géologiques souterraines. Ce composé est considéré essentiellement comme matière première dans les raffineries et les complexes pétrochimiques [21,1].

#### **I.2.1.2. Composition du pétrole brut**

Les hydrocarbures constituant le pétrole brut sont classés en 4 types généraux, désignés par l'acronyme PONA : paraffines, oléfines, naphthènes, aromatiques.

- A. Les Paraffines (alcane)** sont des hydrocarbures saturés, souvent présentés sous forme linéaire ou ramifiée (iso-paraffine, n-paraffines), leur formule chimique est  $C_nH_{2n+2}$ . Ces composés sont caractérisés par une simple liaison reliant les atomes de carbone [27].
- B. Les Oléfines (alcènes)** sont des hydrocarbures insaturés, ne se trouvent pas naturellement dans le pétrole brut mais ils se forment pendant le traitement. Leur formule chimique est  $C_nH_{2n}$ . La structure moléculaire de ces composés est très similaire à celle des paraffines, sauf qu'elle contient au moins une double liaison entre les atomes de carbone [27].
- C. Les Naphthéniques (cyclo alcane)** sont des hydrocarbures cyclo paraffiniques dans lesquels tous les atomes de carbone sont reliés par des liaisons saturées d'hydrogène. Ce type de composé est caractérisé par la présence d'un cycle carbonique appelé naphthène [27].
- D. Les Aromatiques** sont des hydrocarbures cycliques insaturés, contiennent un cycle benzénique à trois doubles liaisons conjuguées. Leur formule Générale est  $C_nH_{2n-6}$  [27].

Le pétrole brut contient aussi des impuretés, en particulier du soufre, d'azote et des traces de métaux (nickel, vanadium). Sa composition exacte varie selon son origine géologique, ce qui se traduit par différents types de pétrole brut ayant des propriétés physicochimiques distinctes [21].

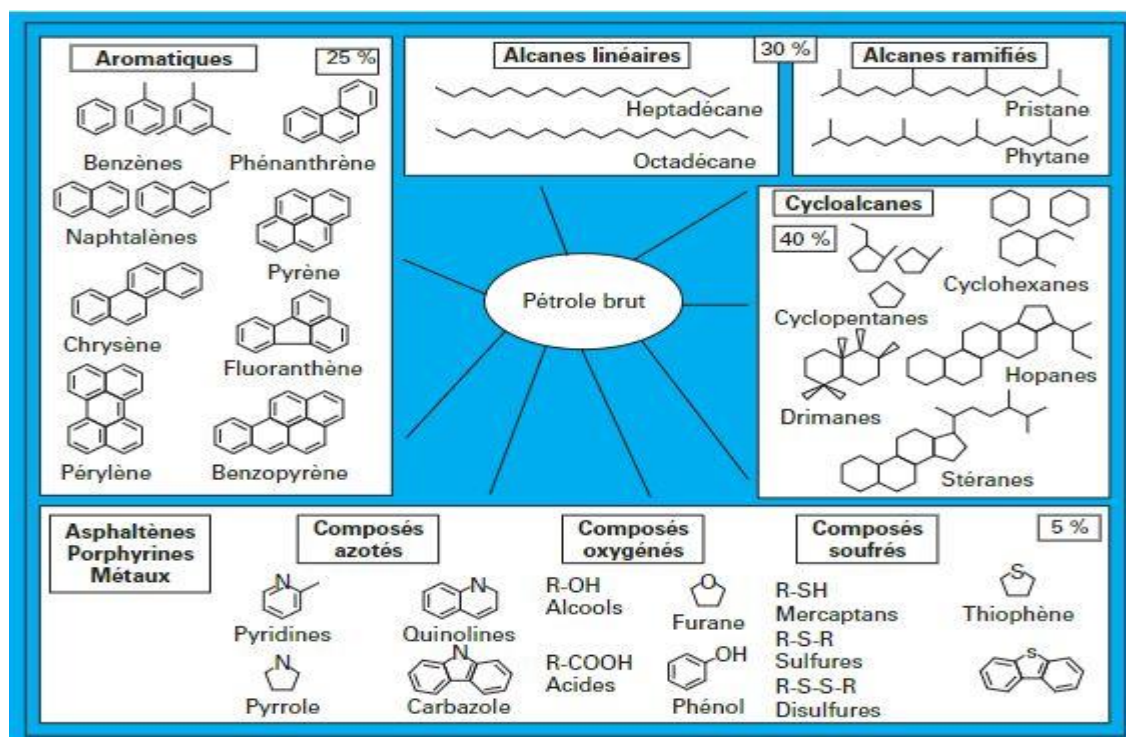


Figure I. 6. Ensemble des hydrocarbures présents dans les pétroles bruts [1].

### I.2.1.3. Propriétés physico-chimiques du pétrole brut

Les propriétés physico-chimiques qui caractérisent le pétrole brut sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau. I. 2. Propriétés physico-chimiques du pétrole brut [28].

Propriétés	Valeur
Densité $D_4^{15}$	0,811
Viscosité (mm <sup>2</sup> /s)	6,9 (à 10°C)
Point d'écoulement (°C)	-12
Teneur en soufre (%)	0.07



## **I.2.2. Essence**

### **I.2.2.1. Définition des essences**

L'essence est un produit pétrolier dérivée du pétrole brut par le processus de raffinage. Elle est principalement utilisée comme carburant pour les moteurs à combustion interne dans les véhicules automobiles, les motos et d'autres équipements motorisés. Ce carburant possède un point d'ébullition entre 30°C (point initial) et 215°C (point final). Elle est généralement caractérisée par les propriétés suivantes : couleur jaune très pale transparente, inflammable, hautement volatile et odorante [29,30].

### **I.2.2.2. Composition des essences**

L'essence est composée principalement d'hydrocarbures de C4 à C10. C'est un mélange complexe comprenant des paraffines, des composés aromatiques, des oléfines et des composés soufrés. Ce produit est élaboré à partir d'un mélange de fractions liquides légères, appelées naphtha, provenant de la distillation atmosphérique directe [28].

### **I.2.2.3. Types des essences**

Il existe deux types d'essence, classés selon leur indice d'octane :

**Essence au plomb** : Également connue sous le nom d'essence super au plomb, est un type d'essence contenant du plomb tétraéthyle comme additif principal. Cet additif a été largement utilisé dans l'essence pendant de nombreuses années pour améliorer l'indice d'octane (indice d'octane élevé entre 96 et 97) et prévenir le cliquetis dans les moteurs à combustion interne. Cependant, ce type d'essence est désormais interdit dans plusieurs pays et même en Algérie en raison de ses effets nocifs sur l'environnement et la santé humaine.

**Essence sans plomb** : C'est une forme d'essence qui ne contient pas de plomb tétraéthyle, contrairement à l'essence au plomb. Ce type d'essence est compatible avec la plupart des véhicules modernes équipés de moteurs conçus pour fonctionner avec de l'essence sans plomb. Et bien que l'essence au plomb possède un indice d'octane plus élevé que l'essence sans plomb (minimum 91 selon la norme Algérienne), mais ce dernier est devenu la norme dans de nombreux pays en raison de ses avantages environnementaux. Son utilisation est encouragée dans de nombreux pays comme une mesure pour réduire la pollution de l'air et protéger la santé humaine [21,31].

### I.2.2.4. Production des essences

L'essence est considérée comme un produit essentiel issu de processus de raffinage de pétrole brut. Au niveau de la RHM2, l'essence sans plomb, ou ce qu'on appelle le reformat, est élaborée selon le procédé suivant :

Dans l'unité de la distillation atmosphérique (unité 200), la charge de brut provenant du centre de traitement sud est reprise par une pompe de charge, puis elle passe par deux échangeurs de chaleur afin d'être envoyé au dessaleur. Le brut dessalé passe dans une série d'échangeurs de chaleur pour le préchauffer avant d'entrer au four pour le chauffer jusqu'à 360°C. la charge sortante de four est dirigé vers la colonne de distillation pour séparer les fractions d'hydrocarbures selon les différentes températures d'ébullition [18,32].

Les températures d'ébullition des cinq produits soutirés sont classées comme suit :

GPL à 20°C

Naphta léger 30 à 180°C

Naphta lourds 100 à 180°C

Kérosène 180 à 250°C

Gasoil 250 à 350 °C

Résidu > 360°C [33].

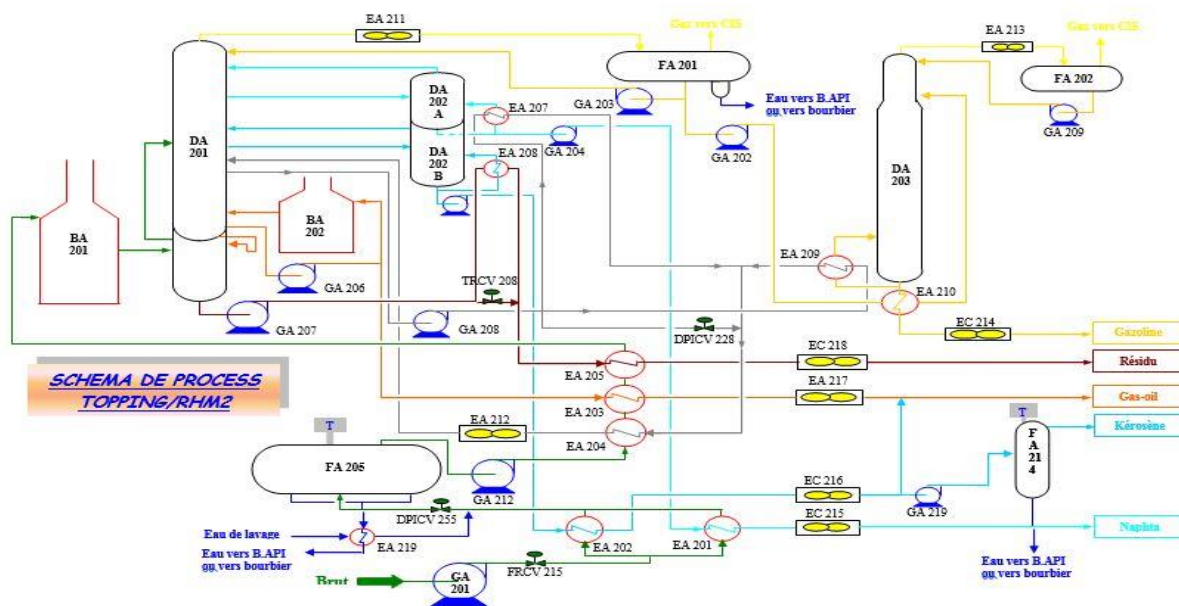


Figure I. 7. Schéma de procédés de distillation atmosphérique [32].

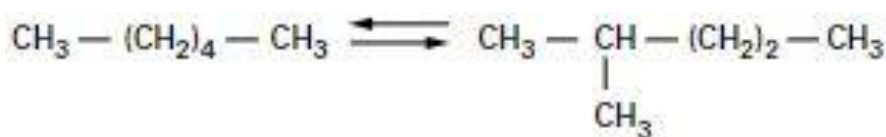
Ensuite, le naphta soutiré par la distillation atmosphérique est amené à l'unité 300 pour le prétraiter, tandis que les autres produits soutirés sont transportés vers l'unité 900 (unité de stockage et utilité). Dans l'unité 300, le naphta est mélangé avec un gaz riche en hydrogène puis il passe par une série des échangeurs de chaleur afin d'atteindre la température nécessaire avant d'entrer au four. La charge de naphta sortante de four passe au réacteur, portant comme catalyseur CO/MO, afin de réduire au maximum les impuretés comme : le soufre, l'azote, l'oxygène, les métaux... [18,32].

La charge hydro raffinée sortant de bas de réacteur se refroidie en passant tout d'abord par des échangeurs de chaleurs puis par un aéroréfrigérants. Ensuite, elle passe au ballon séparateur afin de récupérer les gaz H<sub>2</sub>S vers torche et le naphta vers le bas. Le naphta récupéré passe dans des échangeurs et dans un aéroréfrigérants avant d'entrer dans un stabilisateur utilisé pour récupérer le naphta traité qui est considéré comme la charge de reformage catalytique (unité 800) [18,32].

Durant le reformage catalytique, le naphta traité est aspiré par une pompe puis mélangé avec l'hydrogène injecté. Ensuite, il passe par une série d'échangeur de chaleur (augmentation de la température jusqu'à 400 °C) et par un four pour augmenter de la température jusqu'à 505 °C. le naphta récupéré passe par trois réacteurs, à base de catalyseur pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, séparé par trois fours pour que la température reste constante à 505°C [18,32]. Les réactions réalisées dans chaque réacteur sont :

Réacteur 01 : réaction d'isomérisation, réaction d'hydrocraquage.

- Isomérisation les n-paraffines en iso-paraffines



- Hydrocraquage des paraffines

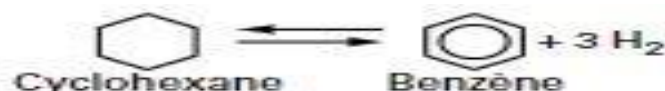


Réacteur 02 : réaction déhydro-cyclisation et réaction déshydrogénation.

- Déhydro-cyclisation des paraffines



- Déshydrogénation des naphènes en aromatique



Réacteur 03 : réaction d'hydrocraquage, réaction d'isomérisation, réaction déhydro-cyclisation et réaction déshydrogénation [34].

Le produit sortant du 3<sup>ème</sup> réacteur a haut température, appelé reformat, passe par un échangeur de chaleur puis un aéroréfrigérants pour condenser les produits volatils. Ensuite, il passe par un ballon séparateur pour séparer l'hydrogène de reformat, d'où le flux riche en hydrogène est éliminé sous forme gaz tandis que le reformat non stable est éliminé sous forme liquide puis il est envoyé vers une colonne de stabilisation. Le fond de cette colonne est un reformat stable, ce dernier est acheminé vers l'unité de stockage [35].

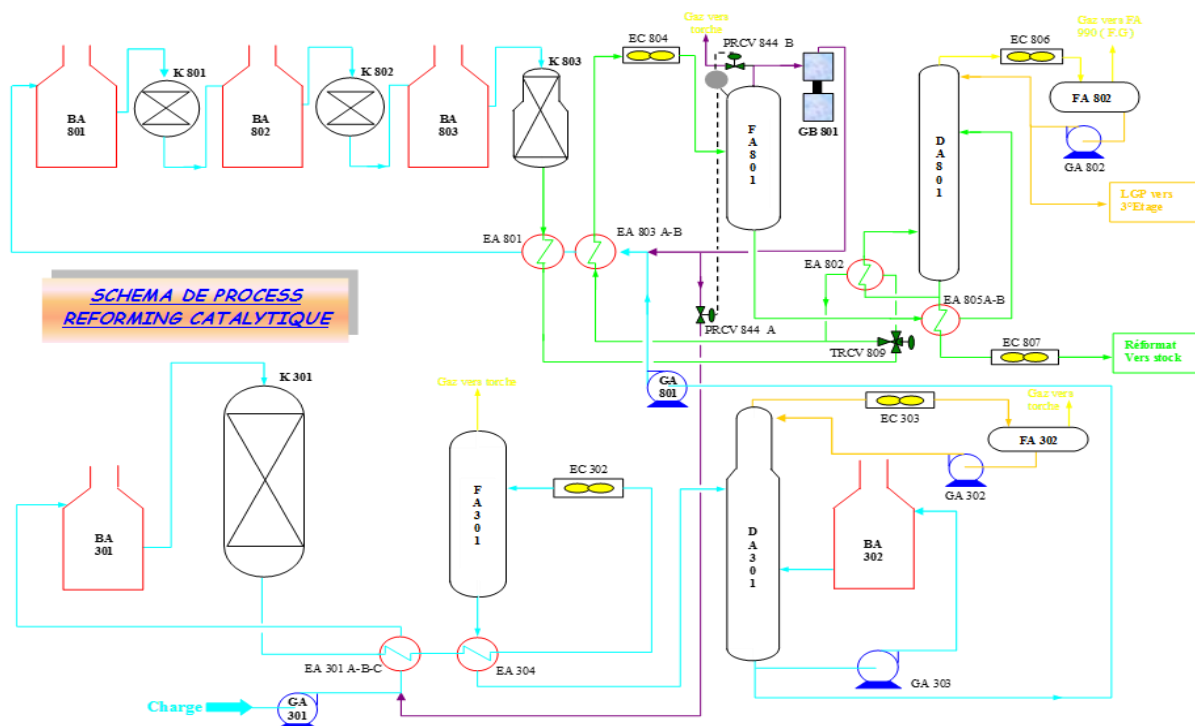


Figure I. 8. Schéma de procédés de l'unité prétraitement de naphta et reformage catalytique [32].

### **I.2.2.5. Caractéristique des essences**

#### **A. Tension de vapeur Reid (TVR)**

La tension de vapeur Reid est une propriété physicochimique essentielle pour la caractérisation des produits pétroliers volatils tel que l'essence. La mesure de cette grandeur est considérée comme une étape importante pour garantir la conformité des produits pétroliers à transporter, car une tension de vapeur Reid élevée peut accroître un risque d'explosion ou d'inflammation au cours du transport et même lors de stockage ou bien dans les moteurs automobiles, tandis que si la tension de vapeur Reid d'un produit pétrolier est faible, elle assure un bon démarrage du véhicule [21,36].

#### **B. Densité**

La densité est la masse volumique d'un échantillon à une température T par rapport à la masse volumique d'eau à la température standard, le choix de l'état standard à 4°C permet l'identification des chiffres qui mesurent la densité et la masse volumique. Généralement on choisit la densité du pétrole et les produits pétroliers à 15°C et l'on définit la  $D_4^{15}$  comme étant la densité d'un produit à 15°C par rapport à l'eau à 4°C. Elle est acquise grâce à un thermodensimètre [26].

#### **C. Indice d'octane**

L'indice d'octane, ou nombre d'octane (NO), est aussi une caractéristique importante des carburants automobiles. Il désigne la capacité d'un carburant à être brûlé correctement dans les moteurs à allumage commandé. Ce paramètre indique la résistance d'un carburant (essence automobile) à l'auto-inflammation [37].

La mesure de l'indice d'octane effectuée par l'utilisation de deux étalons :

- **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 d'octane 100.

On dit ainsi qu'un carburant à 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 n-heptane [38].

### I.2.3. L'isopentane

#### I.2.3.1. Définition

L'isopentane, également connu sous le nom de 2-méthylbutane, est un alcane à chaîne ramifiée de faible poids moléculaire, ayant la formule chimique  $C_5H_{12}$ . C'est un liquide inflammable non toxique, possède des propriétés physiques très similaires à celles du n-pentane. Il peut être produit à partir de diverses sources de matières premières, notamment le pétrole brut, le gaz naturel et les fractions de distillation de raffineries. Une fois produit, l'isopentane peut être purifié et utilisé dans diverses applications industrielles, telles que les solvants, les réfrigérants et les carburants (objet de notre étude). Cet hydrocarbure est généralement commercialisé sous forme liquéfiée et comprimée. La figure suivante représente la géométrie structure de la molécule de L'isopentane [39].

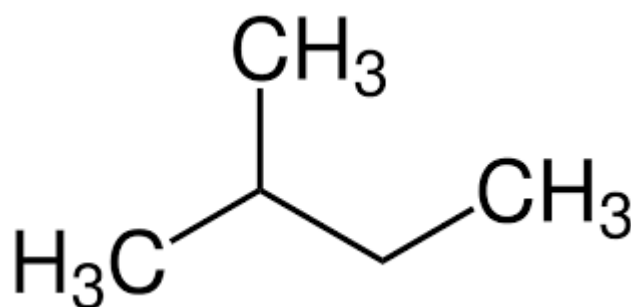


Figure I. 9. Forme géométrique de isopentane (2-méthylbutane).

#### I.2.3.2. Propriétés physico-chimiques de l'isopentane

Les principales propriétés physico-chimiques caractérisant le produit isopentane, à son état pur, sont illustrées dans le tableau ci-dessous :

Tableau. I. 3. Propriétés physico-chimiques de l'isopentane [40].

Propriété	Valeur
Masse moléculaire	72,15 g/mol
Couleur	Incolore
Odeur	Comme les essences
Densité	0,620
Point d'éclair	-51 °C
Point d'ébullition	28 °C
Point de fusion	-159,9 °C

**Tableau. I. 4.** Propriétés physico-chimiques de l'isopentane (suite) [40].

Propriété	Valeur
Tension de vapeur Reid	1,4 kg/cm <sup>2</sup> à 37,8 °C
Indice d'octane	92,3

### **I.2.3.3. Applications de l'isopentane**

L'isopentane est utilisé dans plusieurs domaines industriels, cela revient à leurs propriétés physicochimiques. Parmi les utilisations les plus courantes de l'isopentane, on cite :

- Il est utilisé comme solvant dans la fabrication de dérivés chlorés, de peinture et de vernis, ainsi que dans la production de certains polymères et résines.
- Il est utilisé comme un propulseur d'aérosol et comme un agent gonflant pour la fabrication de mousses.
- Il est utilisé dans la fabrication des produits cosmétiques.
- Il est utilisé dans les applications de réfrigérations et de climatisations.
- Il est utilisé comme un additif pour certains carburants, le cas de l'essence par exemple, et cela pour l'amélioration de leurs propriétés de combustion [39,41,11].

# **Chapitre II**

## **Partie expérimentale**



## Chapitre II : Partie expérimentale

Ce chapitre est consacré à la présentation des matériels et des méthodes d'essai normalisées et à la discussion des résultats obtenus à partir de la caractérisation et de la valorisation physicochimique du mélange Essence-Isopentane, préparé au niveau du laboratoire de la RHM2, en examinant l'effet de la fraction molaire d'isopentane sur : la tension de vapeur Reid (TVR), l'indice d'octane (RON) et la densité du mélange.

### II.1. Matériels et méthodes

#### II.1.1. Matériels

Les propriétés physicochimiques spécifiques de l'essence et l'isopentane utilisés dans notre étude, sont représentées dans le tableau II.1. Ces propriétés ont été mesurées en utilisant les méthodes physicochimiques illustrées dans la partie II.1.3.

**Tableau II. 1.**Caractéristiques physicochimiques de chaque constituant.

Caractéristiques physicochimiques	Essence	IC-5
RON	91,7	87,7
TVR (kg/cm <sup>2</sup> )	0,570	0,940 à 37,8 °C
D	0,766	0,648
T (°C)	18	10,5
D <sub>4</sub> <sup>15</sup>	0,7683	0,6438

#### II.1.2. Préparation des mélanges essence/isopentane

Dans une éprouvette graduée d'un litre, on a introduit une fraction molaire d'essence varie entre (95-90) % puis on a ajouté une fraction molaire d'isopentane varie entre (5-10) %, jusqu'à le trait de l'éprouvette. Les mélanges homogènes préparé ont été met dans six bouteilles.

Les différentes fractions molaires de six mélanges préparés sont (95 :5) (95Ess5IC5) ; (94 :6) (94Ess6IC5) ; (93 :7) (93Ess7IC5) ; (92 :8) (92Ess8IC5) ;(91 :9) (91Ess9IC5) ; et (90 :10) (90Ess10IC5). Ces solutions, illustrées dans la figure II.1, ont été analysées par les méthodes d'analyses physicochimiques discutées dans la partie II.1.3.



**Figure II. 1.** Les mélanges préparés.

Les fractions molaires de l'essence et de l'isopentane des mélanges, sont représentées dans le tableau II.2.

**Tableau II. 2.** Les fractions molaires de l'essence et de l'isopentane des mélanges.

<b>IC-5 (%)</b>	5	6	7	8	9	10
<b>Essence (%)</b>	95	94	93	92	91	90

### II.1.3. Méthodes d'analyse physicochimique

#### II.1.3.1. Tension de vapeur Reid (TVR)

Dans ce travail, La tension de vapeur Reid a été mesurée par l'appareil de mesure de la TVR à 37,8 °C, illustrée dans la figure II.2, cela en utilisant la méthode d'essai standard ASTM D 323 [42].



Figure II. 2. Appareil de mesure de la TVR.

a. Matériel :

L'appareillage de la TVR, représenté dans la figure II.3, contient les éléments suivants :

- Un manomètre (pour la lecture de la TVR).
- Une chambre à air (volume= 4V).
- Une chambre à carburant (volume V).
- Un bain thermostatique à  $T= 37,8^{\circ}\text{C}$  ( $100^{\circ}\text{F}$ ).

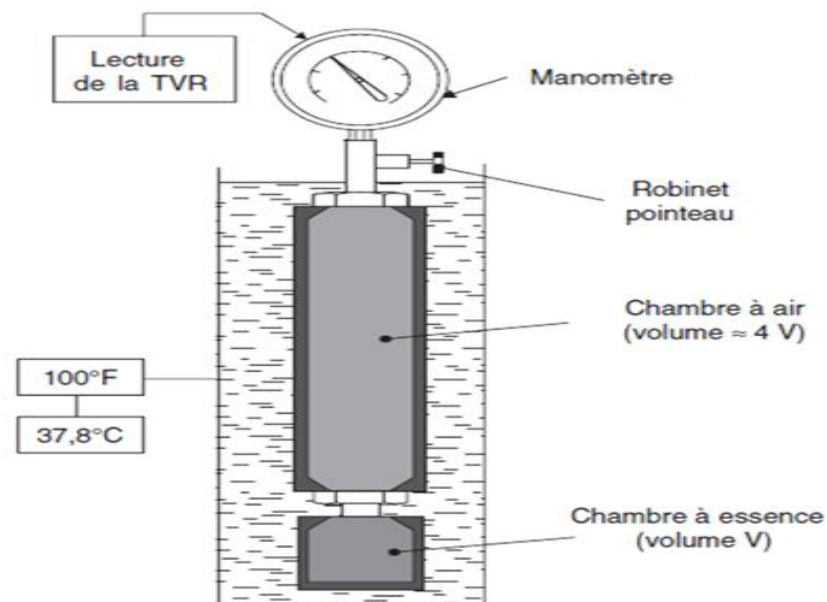


Figure II. 3. Schéma d'appareillage de la TVR [43].

### b. Mode opératoire :

La détermination de la TVR, du mélange étudié, est effectuée en suivant les étapes suivantes :

- Remplir la petite chambre inférieure (chambre à essence) avec le mélange à analyser.
- Relier les deux chambres : la chambre remplie par le mélange avec la chambre à air.
- Appliquer une agitation sur l'ensemble des deux chambres reliées, et cela en exerçant une pression sur l'appareil.
- Plonger l'appareil dans le bain thermostaté à 37,8°C et ouvrir le robinet pointeau pour permettre au manomètre de mesurer la pression due aux vapeurs émis par l'échantillon.

### II.1.3.2. Densité

Dans ce travail, La densité a été mesurée par l'appareil représenté dans la figure II.4, cela en utilisant la méthode d'essai standard ASTM D1298 [44].



**Figure II. 4.**Appareil de la densité.

### a. Matériel :

L'appareillage de la densité, représenté dans la figure II.5, contient les éléments suivants :

- Une éprouvette de 250 mL.
- Un aéromètre (ou hydromètre qui diffère d'un produit à l'autre).
- Thermomètre.

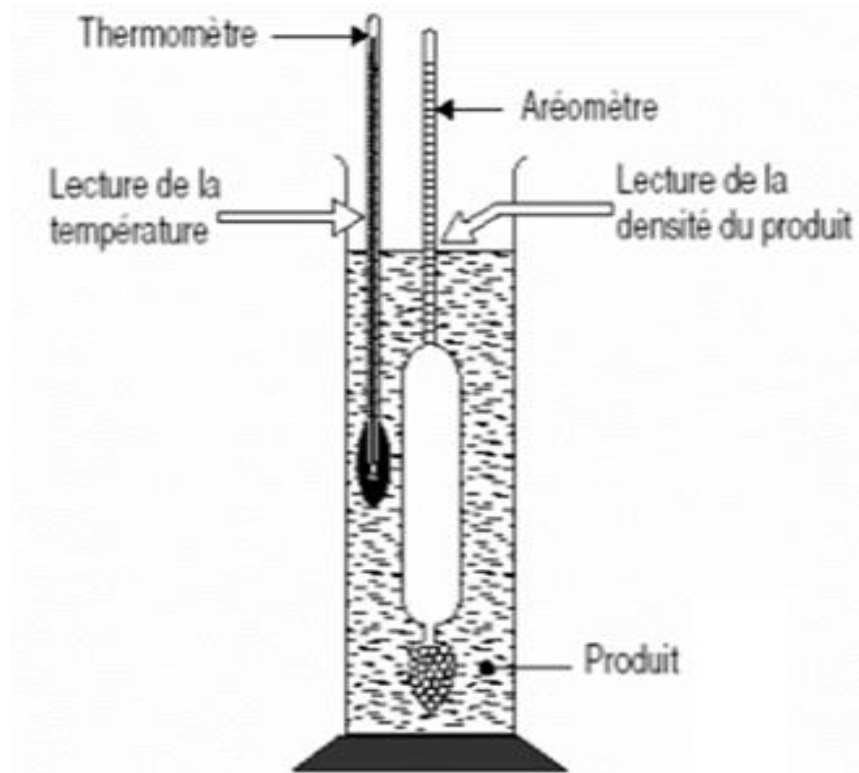


Figure II. 5.Schéma d'appareillage de la densité [43].

**b. Mode opératoire :**

La détermination de la densité, du mélange étudié, est effectuée en suivant les étapes suivantes :

- Remplir l'éprouvette avec le mélange à analyser.
- Mettre l'aéromètre adéquat dans l'éprouvette.
- Introduire le thermomètre dans l'éprouvette.
- Lire la valeur de la densité et de la température correspondante.
- Convertir la valeur trouvée à une température  $T=15^{\circ}\text{C}$ , en utilisant les tables de correction annexe A.

**II.1.3.3. Indice d'octane**

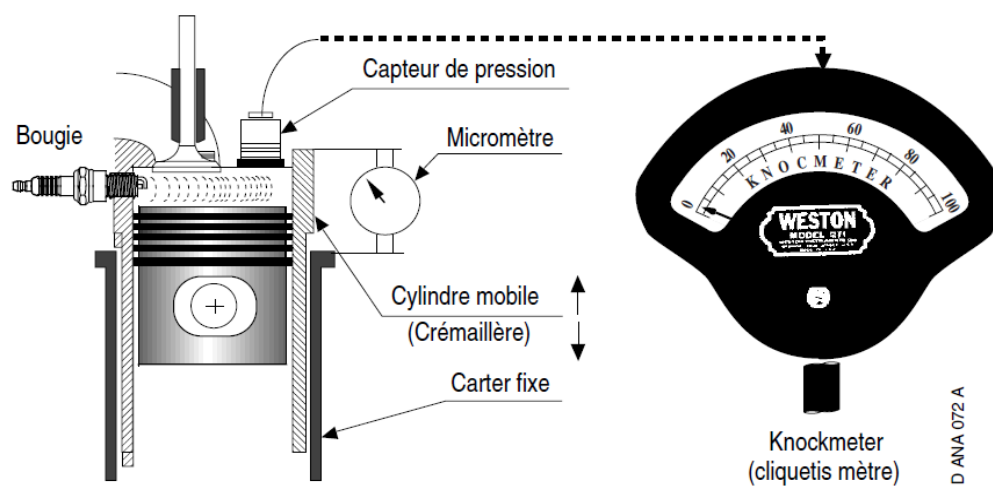
Dans ce travail, l'indice d'octane a été mesuré par le moteur CFR représenté dans la figure II.6, cela en utilisant la méthode d'essai standard ASTM D2699 [45].



**Figure II. 6.**Moteur CFR.

**a. Matériel :**

Moteur CFR : (coopérative fuel research) c'est un moteur monocylindrique tournant à une vitesse constante 600 tr/mn. Les principaux éléments de ce moteur sont représentés dans la figureII.7.



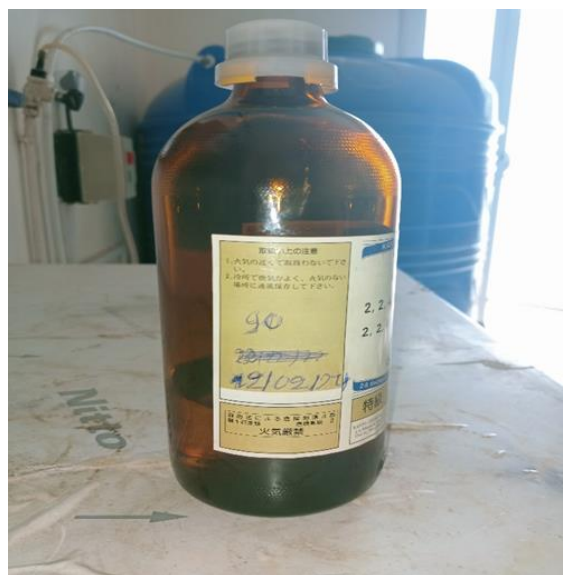
**Figure II. 7.** Schéma d'appareillage du moteur CFR [43].



### Mode opératoire :

La détermination de l'indice d'octane, du mélange étudié, est effectuée en suivant les étapes suivantes :

- Chauffer le moteur avec un carburant de chauffage.
- Déterminer et régler la température en fonction de la pression atmosphérique indiquée dans le baromètre, en utilisant la table de correction de la température d'admission donnée dans l'annexe B.
- Préparer un mélange référentiel d'indice d'octane de 90 représenté dans la figure II.8, composé d'isooctane et n-heptane, et cela en utilisant le tableau représenté dans l'annexe C.
- Remplir la cuve numéro 1 avec le mélange référentiel (isooctane et n-heptane) et la cuve numéro 2 avec le mélange à analyser (essence/isopentane).
- Varier le taux de compression dans le moteur jusqu'à atteindre une indication de détonation égale à 50, indiqué sur le cliquetis mètre (knockmetre).
- Lire la valeur de nombre de cliquetis (valeur de détonation) donnée sur un afficheur.
- Déterminer l'indice d'octane du mélange étudié en utilisant la table représentée dans l'annexe D.



**Figure II. 8.**Mélange isooctane et n-heptane.

### II.1.4. Règlement et normes

Les spécifications techniques de l'essence illustrée dans le tableau II.3 ont été obtenues à partir du règlement technique algérien N°001/2021 du 24 juin 2021. Ce tableau a été utilisé comme référentiel pour déterminer la conformité des mélanges étudiés.

**Tableau II. 3.** Spécifications techniques d'essences [46].

<b>Caractéristiques</b>	<b>Unité</b>	<b>Méthode D'essai</b>	<b>Limites</b>
Densité à 15°C	/	NA 417	Entre 0,720 et 0,775
TVR hiver	Kg/cm <sup>2</sup>	NA 422	0,8 Max.
TVR été	Kg/cm <sup>2</sup>	NA 422	0,65 Max.
Distillation 10%	°C	NA 1415	70 Max.
Distillation 50%	°C	NA 1415	140 Max.
Distillation 95%	°C	NA 1415	195 Max.
Distillation PF	°C	NA 1415	210 Max.
Résidu	% V/V	NA 1415	2 Max.
Doctor test	/	NA 8115	NEGATIF
Corrosion lame de cuivre	/	NA 566	1 Max.
Gomme actuelle	MG/100ML	NA 2654	10 Max.
Nombre d'octane recherche	/	NA 2653	91 Min.
Teneur en plomb	G/L	NA 2803	0,02 Max.
Teneur en soufre	%POS	NA 2810	0,1 Max.



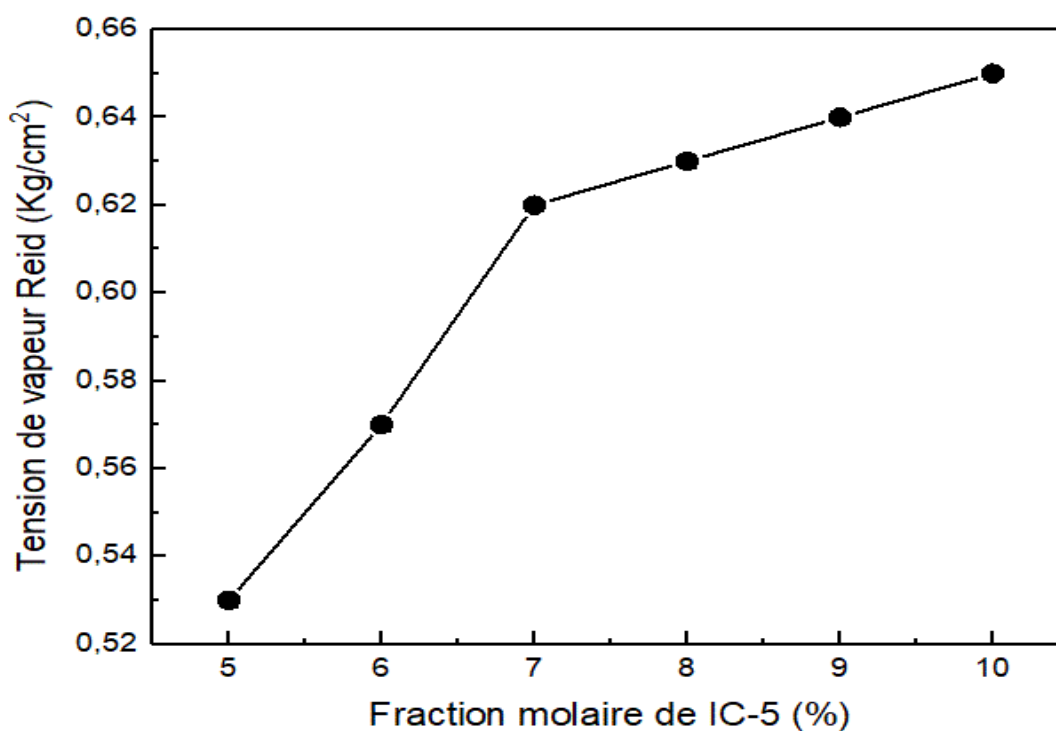
## II.2. Résultats et discussions

### II.2.1. Effet de la fraction molaire d'IC-5 sur la tension de vapeur Reid (TVR)

La tension de vapeur Reid (TVR) est un paramètre important dans l'utilisation des carburants, influençant à la fois leur performance et leur impact environnemental. Les résultats expérimentaux de la caractérisation de la TVR des mélanges Essence-IC-5 sont représentés dans le tableau II.4 et illustré sur la Figure II.9.

**Tableau II. 4.** Evaluation de la tension de vapeur Reid (TVR) du mélange Essence-IC-5.

IC-5 (%)	5	6	7	8	9	10
Essence (%)	95	94	93	92	91	90
TVR mesurée (kg/cm <sup>2</sup> )	0,53	0,57	0,62	0,63	0,64	0,65
TVR prescrit (kg/cm <sup>2</sup> )	≤ 0,8					



**Figure II. 9.** Variation de la tension de vapeur Reid (TVR) en fonction de la fraction molaire d'IC-5.

L'examen de la figure II.9 indique que quand la fraction molaire de l'isopentane augmente de 5 à 10 %, la tension de vapeur Ried augmente de 0.53 à 0.65 kg/cm<sup>2</sup> à 37.8°C, ceci montre le rôle joué par les fractions molaires de l'isopentane dans les tensions de vapeur Ried. De plus, la TVR d'IC-5 (TVR =0.94 kg/cm<sup>2</sup>) a augmenté la TVR de l'essence (TVR =0.57 kg/cm<sup>2</sup>).

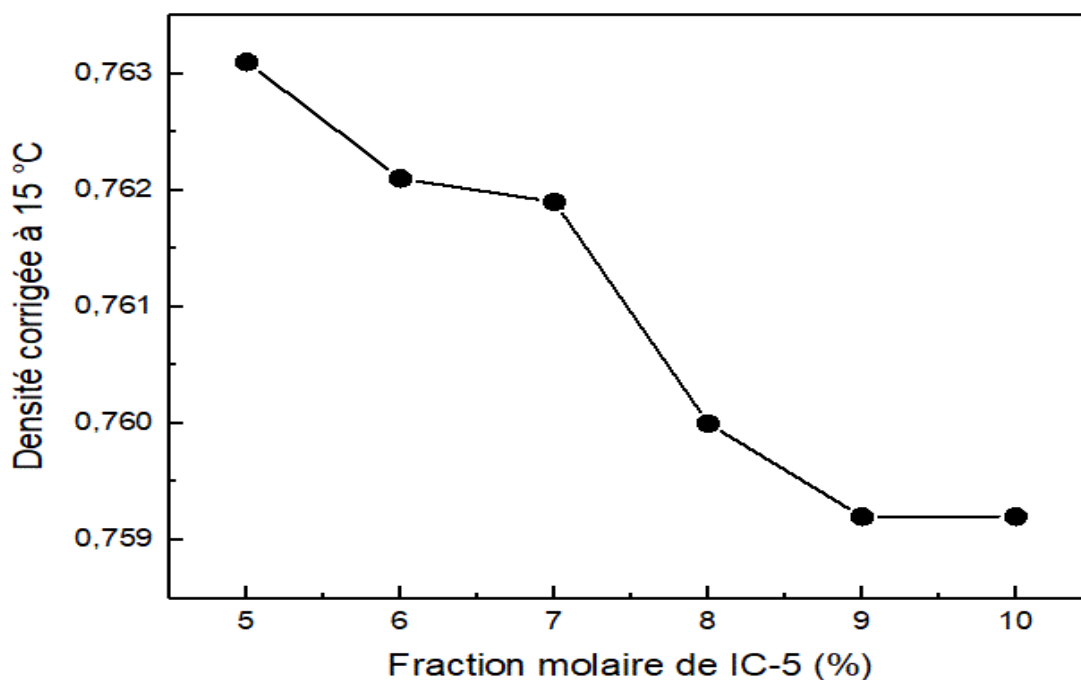
Selon la réglementation, la valeur maximale de la TVR de l'essence ne doit pas être supérieure à 0.8 kg/cm<sup>2</sup>, ce qui nous a permis de dire que les résultats de la TVR trouvés sont conformes à cette norme.

### **II.2.2. Effet de la fraction molaire d'IC-5 sur la densité et de la température**

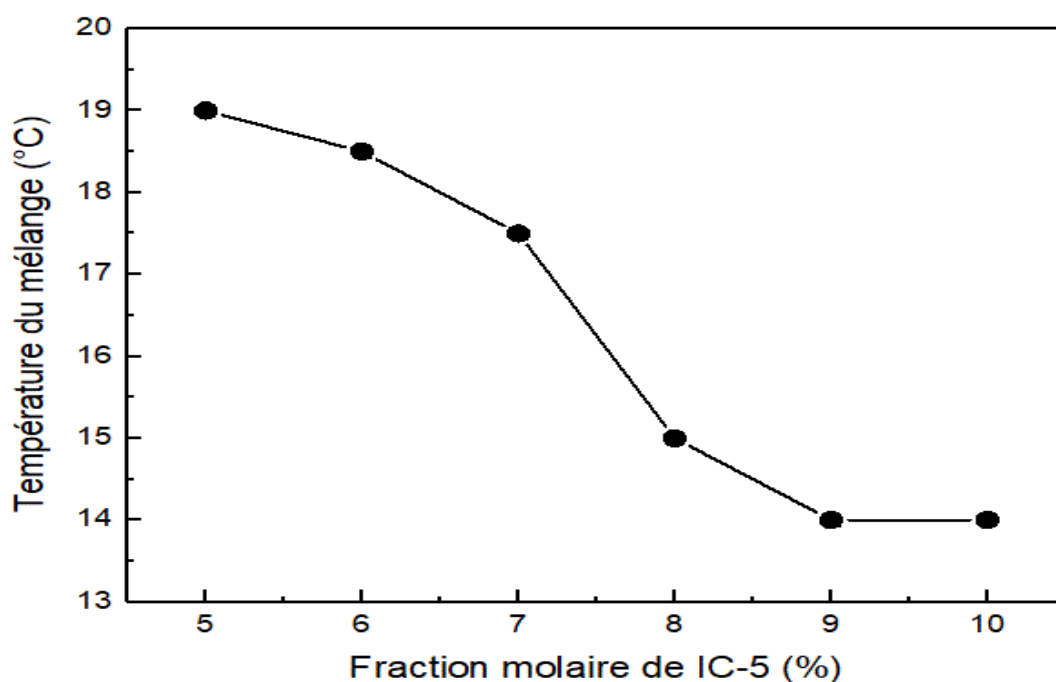
La densité et la température sont deux caractéristiques importantes du carburant, qui influencent à la fois son stockage, son transport et son utilisation. Les résultats de la densité et de la température du mélange étudié sont illustrés dans le tableau II.5, la figure II.10 et la figure II.11.

**Tableau II. 5.** Evaluation de la densité des mélanges Essence-IC-5.

<b>IC 5 (%)</b>	5	6	7	8	9	10
<b>Essence (%)</b>	95	94	93	92	91	90
<b>D</b>	0,760	0,759	0,760	0,760	0,760	0,760
<b><math>D_4^{15}</math> mesurée</b>	0,7631	0,7621	0,7619	0,7600	0,7592	0,7592
<b><math>D_4^{15}</math> prescrit</b>	[0,720-0,775]					
<b>T (°C)</b>	19,0	18,5	17,5	15,0	14,0	14,0



**Figure II. 10.** Variation de la densité en fonction de la fraction molaire d'IC-5.



**Figure II. 11.** Variation de la température en fonction de la fraction Molaire d'IC-5.

D'après les figures II.10 et II.11, nous remarquons une diminution légère de la densité de 0,763 à 0,759 avec l'augmentation de la fraction molaire d'IC-5 de 5 à 10%, respectivement, ceci revient à la diminution de la température du mélange Essence-IC-5 de 19 à 14°C. De même, la densité et la température de l'IC-5 ( $D=0,6438$  et  $T=10,5^{\circ}\text{C}$ ) sont

inférieures à celles de l'essence ( $D=0,7683$  et  $T=18^{\circ}\text{C}$ ), ce qui a aussi provoqué la diminution de la densité et de la température des mélanges.

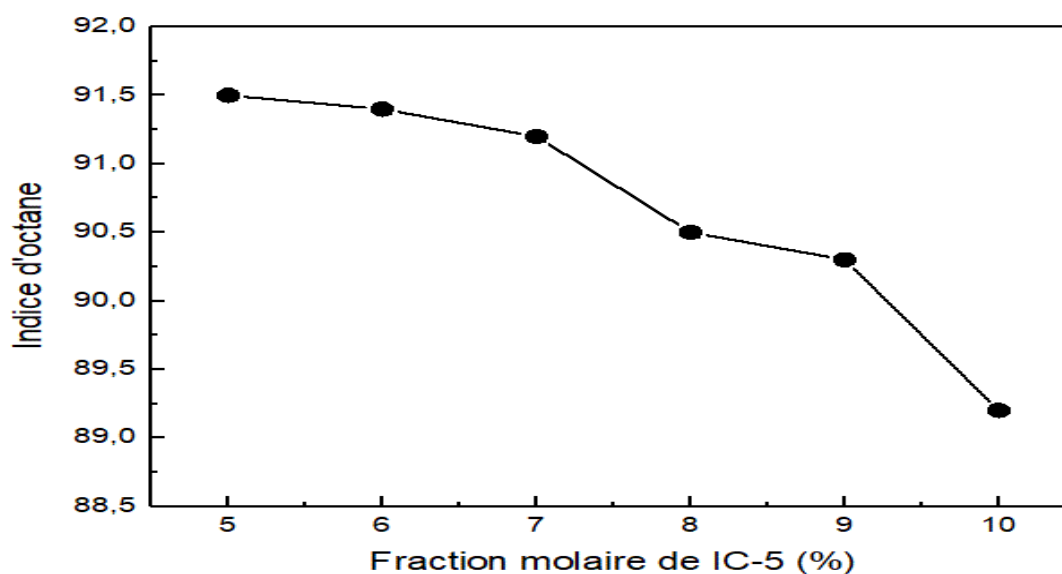
Selon la réglementation cette densité doit être dans l'intervalle  $[0,720-0,775]$  à la température  $T= 15^{\circ}\text{C}$ . D'après le tableau II.5, toutes les valeurs de la densité trouvées appartiennent à cet intervalle, ce qui nous a permis de dire que nos résultats expérimentaux sont dans la norme.

### II.2.3. Effet de la fraction molaire d'IC-5 sur l'indice d'octane (RON)

Cet indice est un paramètre essentiel pour améliorer l'efficacité énergétique d'un carburant. Le tableau II.6 et la figure II.12 représentent les résultats expérimentaux du mélange essence et IC-5.

**Tableau II. 6.** Evaluation de l'indice d'octane (RON) du mélange Essence-IC-5.

IC-5 (%)	5	6	7	8	9	10
Essence (%)	95	94	93	92	91	90
RON mesuré	91,5	91,4	91,2	90,5	90,3	89,2
RON prescrit	$\geq 91$					



**Figure II. 12.** Variation de l'indice d'octane (RON) en fonction de la fraction molaire d'IC-5.

Selon la figure II.12, on observe qu'il y a une diminution de l'indice d'octane de 91,5 à 89,2 en fonction de l'augmentation de la fraction molaire d'IC-5 de 5 à 10 % dans le mélange. Ceci montre que l'ajout d'IC-5 (RON=87,7) diminue la valeur de l'indice d'octane de l'essence (RON=91,7).

Selon la réglementation, la valeur minimale de l'indice d'octane d'essence est 91. Une bonne adaptation à cette réglementation a été remarquée entre 5% et 7% de l'ajout d'IC-5.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

L'objectif de ce travail de mémoire a été focalisé principalement sur la valorisation de l'isopentane pour l'amélioration de la production de l'essence sans plomb au niveau de la raffinerie Algérienne de Hassi Messaoud. Cette production a été effectuée par trois méthodes d'analyse physicochimique suivantes :

- Mesure de la tension de vapeur Reid (TVR) selon la méthode d'essai standard ASTM D 323.
- Mesure de l'indice d'octane (RON) selon la méthode d'essai standard ASTM D2699.
- Mesure de la densité du mélange selon la méthode d'essai standard ASTM D1298.

Les résultats obtenus montrent que les propriétés physicochimiques du mélange étudié, Essence-IC-5, dépendent de la fraction molaire de ces constituants. Les principaux résultats obtenus sont :

- La tension de vapeur Reid (TVR) des mélanges augmente avec l'augmentation de la fraction molaire d'IC-5.
- La densité et la température des mélanges augmente en fonction de l'augmentation de la fraction molaire d'IC-5.
- L'indice d'octane (RON) des mélanges diminue en fonction de l'augmentation de la fraction molaire d'IC-5.

Ces résultats ont été déterminés selon des normes et des règlements algériens bien détaillés utilisés au niveau de la raffinerie Algérienne de Hassi Messaoud afin d'améliorer la qualité de l'essence produite. Selon les résultats trouvés, l'ajout d'IC-5 à l'essence devrait atteindre un maximum de 7% du volume final du mélange afin de respecter les exigences de conformité indiquées dans le règlement technique algérien N°001/2021, montrant les spécifications techniques d'essence.

Enfin ce mémoire ouvre de nombreuses perspectives relatives à l'amélioration de la qualité et la production de l'essence sans plomb. A cette fin, nous proposons les perspectives suivantes :

- L'amélioration de la qualité de l'IC-5 en l'utilisant dans leur état pur avec un indice d'octane élevé.
- Le contrôle de qualité de la composition chimique des mélanges étudié en examinant la teneur en plomb et la teneur en soufre.



# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

- [1] Tocqué. É.& Travers. C, Pétrole. Techniques de l'ingénieur. Génie énergétique, (BE8520), 2010.
- [2] Fischer.G, L'Organisation des pays exportateurs de pétrole, Annuaire Français de Droit International, 7(1), 163-172,1961.
- [3] Dezert. B, Les marchés énergétiques mondiaux et la stabilité de l'organisation des pays producteurs de pétrole, In Annales de Géographie (Vol. 90, No. 500, pp. 481-484), Armand Colin. 1981.
- [4]Elgacem, T, les ressources de l'Algérie outre-terre,47,152,164,2016, <https://doi.org/10.3917/outel.047.0152> .
- [5] Principaux-gisements-des hydrocarbures-de-l 'Algérie, article, <https://www.energy.gov.dz/>
- [6] Hinda, Mouloudj, L'économie algérienne : entre dépendance pétrolière et désindustrialisation pesante The Algerian Economy : betweenoildependence and heavydeindustrializationMouloudjHinda1 Doctorante. École nationale supérieure des sciences politiques (ENSSP).
- [7] Boudia. M, Fakhari. F, et Zebiri. N, La crise économique actuelle en Algérie entre les fluctuations des prix de pétrole et l'exploitation des potentialités disponibles pour la réalisation du décollage économique—étude analytique, Journal of Economic and Financial Research,vol. 4, p. 882-904,2017.
- [8] Ahmed, D, Sonatrach et le partenariat étranger action commune pour intérêts communs ,2014.
- [9] Boughali.S, Bechki. D, Mennouche. D, et al. Opportunités et challenges de la promotion des énergies renouvelables en Algérie. Annal of Science and Technology, vol. 5, no 1, p. 10-10,2013.
- [10] CARBONNIER.G et GRINEVALD.J, Energie et développement, Institut de hautes études internationales et du développement, 2011.

- [11] Abdellatif.T.M, Ershov. M. A, et Kapustin. V.M, New recipes for producing a high-octane gasoline based on naphtha from natural gas condensate. Fuel, vol. 276, p. 118075,2020.
- [12] Kirouani. K, étude corrélatrice des caractéristiques physico-chimique des essences sans plomb à base de MTBE et d'éthanol (thèses de doctorats), 2020.
- [13] Lebbouz. R, analyses physico-chimiques des produits pétroliers des différentes raffineries en Algérie : identification et étude comparative,2023.
- [14] Martoum, S., &Frouhat, Z, Etude de faisabilité de formulation d'une essence sans plomb au niveau de la nouvelle raffinerie RHM2 de Hassi Messaoud (Doctoral dissertation), 2018.
- [15] Wauquier. J.P, Pétrole brut-produits pétrolières, Publication de l'institut français du pétrole – tome 1, Edition Technip,1994.
- [16] Latamene. S. Production de l'essence sans plomb par amélioration du procédé de reforming catalytique, mémoire de formation des ingénieurs division de production Hassi Messaoud,2015.
- [17] Abouri, R. and H. Siagh Production de l'essence sans plomb par amélioration du procédé de reforming catalytique (RHM2).2016.
- [18] Abderrahmane Sebai, présentation de la nouvelle raffinerie Hassi Messaoud,2002.
- [19] Combustibles et carburants pétroliers. ED 989, L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS),2019.
- [20] GUIBET, J. C. Caractéristiques des produits pétroliers, Ed. Techniques Ingénieur,1997.
- [21] Favennec, J.-P. Raffinage du pétrole (Le). Tome 5. Exploitation et gestion de la raffinerie, Editions Technip,1998.
- [22] Sicard.M et Quignard. A, Carburants aéronautiques. Techniques de l'ingénieur,2022.
- [23] Sellami, M. H, Augmentation de la production de Gasoil-RHM2/HMD (Doctoral dissertation, Université KasdiMerbah Ouargla) Gasoil ,2022.

- [24] Hamdi. S. M. A., & Hamoum. M, Valorisation du résidu atmosphérique par la simulation d'une nouvelle unité de distillation sous vide Au niveau de la raffinerie de RHM2 (Doctoral dissertation, Université KasdiMerbah Ouargla) ,2022.
- [25] Stellman, J. M, Encyclopédie de sécurité et de santé au travail, International Labour Organization,2000.
- [26] Wuithier. J.P, Raffinage et génie chimique. Paris : Edition Technip, publication de l'institut français, Tome 1,1972.
- [27] Gary. J. H ,Handwerk.J. H , Kaiser. M. J et Geddes, D, Petroleum refining: technology and economics, CRC press,2007.
- [28] Guibet, J.-C, Carburants et moteurs : technologies, énergie, environnement, Edition technique,1997.
- [29] Guibet, J.-C, 'Carburants liquides, caractéristiques et principes généraux', technique d'ingénieur. Be8543, 10/04/2011.
- [30] François-Xavier Merlin. Essence sans plomb, Guide d'intervention chimique,2008.
- [31] élimination, du plomb stratégies et ressources aval en matière d'élimination Progressive de l'essence plombée'', IPIECA association internationale de l'industrie Pétrolière pour la sauvegarde de l'environnement, 2003.
- [32] Manuel opératoire de la Nouvelle Raffinerie de Hassi-Messaoud
- [33] Lefebvre, G. Chimie des hydrocarbures. Editions Technip,1978.
- [34] Fournier, G., & Joly. J. F, Reformage catalytique, Techniques de l'ingénieur, Génie des procédés, 5(J5915), J5915-1,2001.
- [35] Jones. D. S & Pujadó, P. P. (Eds), Handbook of petroleum processing, Springer Science & Business Media, 2006.
- [36] ASTM, D. 323 Standard Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Reid Method). Annual Book of Standards. 1994.
- [37] Boucha, K., Ousfia, A., & Khelifi, O. Amélioration de l'indice d'octane par reformage catalytique au niveau de la raffinerie d'ADRAR RA1D (Doctoral dissertation, Université Ahmed Draia-ADRAR).2019.

- [38] Eléments de chimie-produits (Les essais normalisés de contrôle et de qualité des produits pétroliers). ENSPM formation industrie – IFP training. 2006.
- [39] Galvin, J. B. and F. Marashi, "2-Methylbutane (isopentane)." *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A* 58(1-2): 23-33, 1999.
- [40] Young, S, The thermal properties of isopentane. *Proceedings of the Physical Society of London*, 13(1), 602, 1894.
- [41] Mercier. P les hydrocarbures, la revue pratique du froid et de conditionnement d'air, 2019.
- [42] ASTM, D. 323 Standard Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Reid Method). *Annual Book of Standards*. 1994.
- [43] Eléments de chimie-produits (Les essais normalisés de contrôle et de qualité des produits pétroliers). ENSPM formation industrie – IFP training. 2006.
- [44] Denis, J., Briant, J., & Hipeaux, J. C. (s. d.). *Physico-chimie des lubri...* Editions OPHRYS. 1997.
- [45] Code of Federal Regulations: Commercial practices. (1999). États-Unis: Office of the Federal Register, National Archives and Records Service, General Services Administration.
- [46] Règlement technique N°001/2021 portant spécification technique de l'essence. وزارة الطاقة سلطة ضبط المحروقات. 24 juin 2021.

# **Annexes**

## Annexe A

Table de correction des densités en fonction de la température

0,640-0,649		* Density Reduction to 15°C.									ASTM-IP
0-25°C.											
Observed Temper- ature, °C.	Observed Density										
	0,640	0,641	0,642	0,643	0,644	0,645	0,646	0,647	0,648	0,649	
	Corresponding Density 15°C.										
0	0,6255	0,6265	0,6276	0,6286	0,6296	0,6306	0,6317	0,6327	0,6337	0,6348	
0,5	0,6260	0,6270	0,6280	0,6291	0,6301	0,6311	0,6322	0,6332	0,6342	0,6353	
1,0	0,6265	0,6275	0,6285	0,6296	0,6306	0,6316	0,6327	0,6337	0,6347	0,6357	
1,5	0,6270	0,6280	0,6290	0,6301	0,6311	0,6321	0,6331	0,6342	0,6352	0,6362	
2,0	0,6275	0,6285	0,6295	0,6305	0,6316	0,6326	0,6336	0,6347	0,6357	0,6367	
2,5	0,6280	0,6290	0,6300	0,6310	0,6321	0,6331	0,6341	0,6351	0,6362	0,6372	
3,0	0,6285	0,6295	0,6305	0,6315	0,6325	0,6336	0,6346	0,6356	0,6366	0,6377	
3,5	0,6289	0,6300	0,6310	0,6320	0,6330	0,6341	0,6351	0,6361	0,6371	0,6382	
4,0	0,6294	0,6305	0,6315	0,6325	0,6335	0,6345	0,6356	0,6366	0,6376	0,6386	
4,5	0,6299	0,6309	0,6320	0,6330	0,6340	0,6350	0,6360	0,6371	0,6381	0,6391	
5,0	0,6304	0,6314	0,6325	0,6335	0,6345	0,6355	0,6365	0,6376	0,6386	0,6396	
5,5	0,6309	0,6319	0,6329	0,6340	0,6350	0,6360	0,6370	0,6380	0,6391	0,6401	
6,0	0,6314	0,6324	0,6334	0,6344	0,6355	0,6365	0,6375	0,6385	0,6395	0,6405	
6,5	0,6319	0,6329	0,6339	0,6349	0,6359	0,6370	0,6380	0,6390	0,6400	0,6410	
7,0	0,6324	0,6334	0,6344	0,6354	0,6364	0,6374	0,6385	0,6395	0,6405	0,6415	
7,5	0,6328	0,6339	0,6349	0,6359	0,6369	0,6379	0,6389	0,6399	0,6410	0,6420	
8,0	0,6333	0,6343	0,6353	0,6364	0,6374	0,6384	0,6394	0,6404	0,6414	0,6424	
8,5	0,6338	0,6348	0,6358	0,6368	0,6379	0,6389	0,6399	0,6409	0,6419	0,6429	
9,0	0,6343	0,6353	0,6362	0,6373	0,6383	0,6393	0,6404	0,6414	0,6424	0,6434	
9,5	0,6348	0,6358	0,6368	0,6378	0,6388	0,6398	0,6408	0,6418	0,6428	0,6439	
10,0	0,6352	0,6363	0,6373	0,6383	0,6393	0,6403	0,6413	0,6423	0,6433	0,6443	
10,5	0,6357	0,6367	0,6377	0,6388	0,6398	0,6408	0,6418	0,6428	0,6438	0,6448	
11,0	0,6362	0,6372	0,6382	0,6392	0,6402	0,6412	0,6422	0,6433	0,6443	0,6453	
11,5	0,6367	0,6377	0,6387	0,6397	0,6407	0,6417	0,6427	0,6437	0,6447	0,6457	
12,0	0,6372	0,6382	0,6392	0,6402	0,6412	0,6422	0,6432	0,6442	0,6452	0,6462	
12,5	0,6376	0,6386	0,6396	0,6406	0,6416	0,6427	0,6437	0,6447	0,6457	0,6467	
13,0	0,6381	0,6391	0,6401	0,6411	0,6421	0,6431	0,6441	0,6451	0,6461	0,6471	
13,5	0,6386	0,6396	0,6406	0,6416	0,6426	0,6436	0,6446	0,6456	0,6466	0,6476	
14,0	0,6391	0,6401	0,6411	0,6421	0,6431	0,6441	0,6451	0,6461	0,6471	0,6481	
14,5	0,6395	0,6405	0,6415	0,6425	0,6435	0,6445	0,6455	0,6465	0,6475	0,6485	
15,0	0,6400	0,6410	0,6420	0,6430	0,6440	0,6450	0,6460	0,6470	0,6480	0,6490	
15,5	0,6405	0,6415	0,6425	0,6435	0,6445	0,6455	0,6465	0,6475	0,6485	0,6495	
16,0	0,6409	0,6419	0,6429	0,6439	0,6449	0,6459	0,6469	0,6479	0,6489	0,6499	
16,5	0,6414	0,6424	0,6434	0,6444	0,6454	0,6464	0,6474	0,6484	0,6494	0,6504	
17,0	0,6419	0,6429	0,6439	0,6449	0,6459	0,6469	0,6479	0,6489	0,6499	0,6509	
17,5	0,6424	0,6433	0,6443	0,6453	0,6463	0,6473	0,6483	0,6493	0,6503	0,6513	
18,0	0,6428	0,6438	0,6448	0,6458	0,6468	0,6478	0,6488	0,6498	0,6508	0,6518	
18,5	0,6433	0,6443	0,6453	0,6463	0,6473	0,6483	0,6493	0,6503	0,6512	0,6522	
19,0	0,6438	0,6448	0,6457	0,6467	0,6477	0,6487	0,6497	0,6507	0,6517	0,6527	
19,5	0,6442	0,6452	0,6462	0,6472	0,6482	0,6492	0,6502	0,6512	0,6522	0,6532	
20,0	0,6447	0,6457	0,6467	0,6477	0,6487	0,6497	0,6506	0,6516	0,6526	0,6536	
20,5	0,6452	0,6461	0,6471	0,6481	0,6491	0,6501	0,6511	0,6521	0,6531	0,6541	
21,0	0,6456	0,6466	0,6476	0,6486	0,6496	0,6506	0,6516	0,6526	0,6535	0,6545	
21,5	0,6461	0,6471	0,6481	0,6491	0,6500	0,6510	0,6520	0,6530	0,6540	0,6550	
22,0	0,6465	0,6475	0,6485	0,6495	0,6505	0,6515	0,6525	0,6535	0,6545	0,6555	
22,5	0,6470	0,6480	0,6490	0,6500	0,6510	0,6520	0,6529	0,6539	0,6549	0,6559	
23,0	0,6475	0,6485	0,6495	0,6504	0,6514	0,6524	0,6534	0,6544	0,6554	0,6564	
23,5	0,6479	0,6489	0,6499	0,6509	0,6519	0,6529	0,6539	0,6548	0,6558	0,6568	
24,0	0,6484	0,6494	0,6504	0,6514	0,6523	0,6533	0,6543	0,6553	0,6563	0,6573	
24,5	0,6489	0,6498	0,6508	0,6518	0,6528	0,6538	0,6548	0,6558	0,6568	0,6578	

## Annexe B

### Table de correction de la température d'air admission

CORRECTION DE LA TEMPÉRATURE D'AIR ADMISSION  
EN FONCTION DE LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE  
Méthode "Recherche" - ASTM D 2699

Degrés Fahrenheit

mm Hg	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
780	136	137	138	138	139	139	140	140	141	141
770	130	131	132	132	133	133	134	135	135	136
760	125	125	126	127	127	128	128	129	129	130
750	119	120	120	121	121	122	122	123	124	124
740	113	114	114	115	116	116	117	117	118	118
730	108	108	109	109	110	110	111	111	112	113
720	102	102	103	104	104	105	105	106	106	107
710	96	96	97	98	98	99	99	100	100	100
700	90	91	91	92	92	93	94	94	95	95
690	85	85	86	86	87	87	88	88	89	89
680	79	79	80	81	81	82	82	83	84	84

**Note :** la température de l'air admission spécifiée pour une pression atmosphérique donnée peut être modifiée de  $\pm 40$  °F dans le cas où les résultats de standardisation à base de toluène sont hors tolérances, pour les carburants étalons de 89.3, 93.4, 96.9 et 99.8. Si la correction de température de l'air est utilisée dans la limite de  $\pm 40$  °F, le résultat des valeurs des carburants étalons devra être à  $\pm 0,1$  de la valeur nominale de l'étalon utilisé. Pour les autres valeurs de carburants étalons, consulter la table 2 de l'ASTM.



### Annexe C

Table de préparation du Mélange référentielle

MELANGE $V_{me}$ 500CC		
N.O	ISO-OCTANE	N-HEPTANE
100	500	0
98	490	10
96	480	20
94	470	30
92	460	40
90	450	50
88	440	60
86	430	70
84	420	80
82	410	90
80	400	100
78	390	110
76	380	120
74	370	130
72	360	140
70	350	150
68	340	160
66	330	170
64	320	180
62	310	190
60	300	200

## Annexe D

Table de l'indice d'octane en fonction de la valeur de cliquetis

ASTM D 2699 - IP 237/69

TABLE 3 Continued

Research Octane Number	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	Research Octane Number
	Digital Counter Setting										
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	737	739	90
91.....	740	742	743	744	746	747	749	750	752	753	91
92.....	756	757	759	760	761	763	764	766	767	768	92
93.....	770	772	774	776	778	780	781	783	784	785	93
94.....	787	789	791	793	795	797	799	801	802	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	1059	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	1156	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
120.....	1286	1287	1289	1290	...	...	...	...	...	...	120

Tolerance is  $\pm 14$  digital counter units at all levels.  
 Equivalent micrometer reading =  $1.012 - \frac{\text{digital counter reading}}{1410}$