

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GENIE DES PROCEDES

Spécialité : Génie Chimique

Intitulé du mémoire

**Contribution à l'Etude de Production
d'Essence Sans Plomb. Effets des Additifs
Oxygénés.**

Présenté par :

Melle MIRAD Dhoha

Encadré par :

Pr. BENSACIA Nabila

M. RECHEDI Youcef

Promotion 2025

المخلص

تهدف دراستنا إلى تحليل المكونات الأساسية المستخدمة في إنتاج البنزين الخالي من الرصاص، وتقييم فعالية وتأثير كل من الميثانول، الإيثانول وميثيل ثالثي بوتيل إيثر على خصائص البنزين، بهدف الحصول على وقود ذي رقم أوكتان مرتفع ومتوافق مع المعايير الجزائرية. يتمثل عملنا في تحليل الخصائص التالية: الكثافة، التقطير، ضغط بخار ريد، رقم الأوكتان، ومحتوى الكبريت. وقد تبين أنه بالنسبة لـ 8% من الميثانول، فإن رقم الأوكتان يبلغ 91.05، وضغط البخار 0.889 بار ، والكثافة 0.7325 تشير إلى أن الوقود غير مطابق للمعايير الجزائرية. أما بالنسبة لـ 10% من الإيثانول، فإن رقم الأوكتان هو 91.37، وضغط البخار 0.741 بار ، والكثافة 0.7325 تشير إلى أن الوقود مطابق للمعايير. وبالنسبة لـ 15% من ميثيل ثالثي بوتيل إيثر، فإن رقم الأوكتان 91.08، وضغط البخار 0.645 بار ، والكثافة 0.7325 تشير إلى أن الوقود مطابق للمعايير الجزائرية.

الكلمات المفتاحية : بنزين خالٍ من الرصاص، ميثانول، إيثانول، ميثيل ثالثي بوتيل إيثر، رقم الأوكتان، الكثافة، ضغط بخار ريد .

ABSTRACT

Our study aims to analyze the bases used in the production of unleaded gasoline and to evaluate the effectiveness and impact of methanol, ethanol, and MTBE on gasoline characteristics in order to obtain a gasoline with a high octane rating and compliant with Algerian standards. Our work involves analyzing the following parameters: density, distillation, Reid vapor pressure (RVP), octane number (ON), and sulfur content. It was found that for 8% methanol, an ON value of 91.05, RVP of 0.889 bar, and density of 0.7325 indicate non-compliant gasoline. For 10% ethanol, an ON value of 91.37, RVP of 0.741bar , and density of 0.7325 show compliant gasoline. For 15% MTBE, an ON value of 91.08, RVP of 0.645bar, and density of 0.7325 designate compliant gasoline.

Keywords: Unleaded gasoline, MTBE, Ethanol, Methanol, Octane rating, Density, RVP.

RESUME

Notre étude vise à analyser les bases utilisées dans la production d'essence sans plomb et à évaluer l'efficacité et l'impact du méthanol, de l'éthanol et du MTBE, sur les caractéristiques de l'essence afin d'obtenir une essence avec un indice d'octane élevé et conforme aux normes Algériennes. Notre travail consiste à analyser les paramètres : Densité, distillation, tension de vapeur Reid (TVR), indice d'octane (NO) et teneur en soufre. Il a été trouvé que pour 8% du méthanol, une valeur de NO de 91.05, TVR de 0.889 bar et densité de 0.7325 indique une essence non conforme. Pour 10% d'éthanol, une valeur de NO de 91.37, TVR de 0.741 bar et densité de 0.7325 montre une essence conforme. Pour 15% du MTBE, une valeur de NO de 91.08, TVR de 0.645 bar et densité de 0.7325 désigne une essence conforme.

Mot clés : Essence sans plomb, MTBE, Ethanol, Méthanol, Indice d'octane, Densité, TVR.

REMERCEMENTS

Tout d'abord, je remercie Dieu tout-puissant de m'avoir guidé et de m'avoir donné beaucoup de courage qui m'a permis de finir ce travail.

Je tiens dans un premier temps à exprimer mes sincères remerciements à mon encadrante Pr. BENSACIA Nabila, pour sa confiance, sa disponibilité, son soutien et ses conseils précieuses qui m'ont aidé à la réalisation de cette recherche.

J'exprime également ma profonde gratitude à M. RECHIDI Youcef mon co-encadrant au niveau de la raffinerie d'Alger, pour sa patience infinie, son aide, ses recommandations avisées et pour le temps qu'il m'a consacré durant mon stage. Mes remerciements aussi s'adresse à tout le personnel du laboratoire de RA1G.

Je remercie aussi les membres de jury qui ont accepté de juger ce travail et faire partie de cette recherche.

Je souhaite exprimer mes remerciements à l'ensemble des enseignants du département de Génie des précédés de l'Université Saad Dahleb Blida 1. Leurs soutiens, leurs expertises et leurs conseils ont été une source d'inspiration tout au long de mon parcours académique et dans la réalisation de ce travail. Je suis reconnaissante pour leurs patiences, leurs disponibilités et leurs engagements de partager leurs savoir.

Je veux vous remercier sincèrement pour avoir été bien plus que de simples professeurs.

Sans oublier à la fin ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

DEDICACE

Du fond de mon cœur, je dédie ce travail à ceux envers qui les mots ne suffiront jamais à exprimer toute ma reconnaissance.

À mes chers parents

Je vous dédie ce travail avec une gratitude infinie pour tout ce que vous avez fait pour moi. Je tiens à exprimer ma gratitude pour votre amour, votre soutien inconditionnel et vos encouragements constants tout au long de mon parcours. Je ne serais jamais arrivée où je suis aujourd'hui sans vous. Vous m'avez appris à croire en moi-même et à travailler dur pour atteindre mes objectifs. Je suis fière de pouvoir vous dédier ce travail aujourd'hui. Merci du fond du cœur pour tout ce que vous avez fait pour moi. Vous êtes les meilleurs parents du monde et je vous aime plus que tout.

À mes chères sœurs: Imene, Ihsen, Bouchra et Rahma,

Vous avez toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.

De même pour mon cher frère, Mohamed Ali.

A tous mes meilleurs amis, je garderai toujours le souvenir de vous, chacun à son nom, vous avez été présents lors de mes succès et également lors de mes moments difficiles. Merci d'être là pour moi.

A mes camarades qui m'ont accompagné tout au long de mon parcours universitaire, ainsi qu'à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réussite de ce travail.

TABLE DES MATIERES

Résumés

Dédicaces

Remerciements

Liste des illustrations

Liste des tableaux

Introduction générale 1

CHAPITRE 1: PARTIE THEORIQUE

1.1 Généralités sur le pétrole brut 3

1.1.1 Définition 3

1.1.2 Composition 3

1.1.3 Principales familles d'hydrocarbures 4

1.1.3.1 Hydrocarbures saturés 4

1.1.3.2 Hydrocarbures insaturés 4

1.1.3.3 Hydrocarbures aromatiques 5

1.1.4 Classifications du pétrole 5

1.1.5 Raffinage du pétrole brut 8

1.2 Généralités sur l'essence 10

1.2.1 Définition 10

1.2.2 Composition 10

1.2.3 Différents types d'essence 10

1.2.4 Caractéristiques d'essence 11

1.2.5 Spécifications des essences 15

1.2.6 Additifs pour l'essence 15

1.2.7 Composés oxygénés 16

CHAPITRE 2 : PARTIE EXPERIMENTALE

2.1 Présentation de la raffinerie d'Alger.....	20
2.1.1 Emplacement géographique de la raffinerie	Error! Bookmark not defined.
2.1.2 Capacité de production	22
2.1.3 Unités principales de raffinage dans la raffinerie	23
2.2 Procédés de production de l'essences sans plomb à la raffinerie d'Alger	23
2.2.1 Distillation atmosphérique ADU (U100).....	23
2.2.2 Section de MS block	26
2.2.4. Unité de craquage catalytique de fluide résiduel RFCC (U530)	33
2.2.5 Blending des essences.	34
2.3 Etude de l'impact des additifs choisis sur les caractéristiques de l'essence	36
2.3.1 Composés chimique utilisés.....	37
2.3.2. Matériels utilisés	39
2.4 Protocoles expérimentaux	39
2.4.1 Densité (ASTM D1298)	39
2.4.2 Distillation (ASTM D86)	40
2.4.3 Tension de vapeur Reid (ASTM D323).....	40
2.4.4 Indice d'octane (ASTM D2699).....	41
2.4.5 Teneur en soufre	42
2.5 Effet des additifs oxygénés	42
2.5.1 Le Modèle mathématique.....	43
2.5.2 Résolution de system mathématiques.	43
2.5.3 Protocol de manipulation pour le mélange d'essence non conforme	45
2.5.4 L'effet de l'ajoute des additifs oxygénés	45

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Les résultats d'analyses physico-chimiques des différentes bases utilisées pour le mélange	
--	--

d'essence sans plomb .	47
3.1.1 Analyses du naphta total de la distillation atmosphérique (U100)	47
3.1.2 Analyse d'isomérisat de l'unité d'isomérisation (U510)	48
3.1.3 Analyse de reformat du reformage catalytique (U 520)	49
3.1.4 Analyses du Gasoline	49
3.1.5 Analyse comparative des caractéristiques analytiques des composants de formulation de l'essence sans plomb	50
3.2 Caractérisation de mélange d'essence non conforme préparé	54
3.3 Ajout du méthanol et son effets sur les paramètres physico-chimiques d'essence	54
3.4 Ajout du l'Ethanol et son impact sur le blending de l'essence sans plomb.	57
3.5 Ajout du MTBE et son impact sur les caractéristiques d'essence sans plomb.	58
3.6 Comparaison entre les trois additifs étudiés.	60
3.7 Préparation d'un essence à base du MTBE conforme aux norme algérienne	63
Conclusion generale	64
Références bibliographique	66
Appendix	

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1.1 : Différentes coupes pétrolières	8
Figure 1.2 : Schéma général du raffinage du pétrole brut	9
Figure 1.3 : Structure chimique du MTBE	18
Figure 2.1 : Entrée principale de la raffinerie d'Alger	21
Figure 2.2 : Vue aérienne avec Google Earth présentant l'emplacement de la raffinerie d'Alger	22
Figure 2.3 : Schéma du procédé de distillation atmosphérique	25
Figure 2.4 : Schéma général de procédé d'Hydrotraitement du Naphta non traité	26
Figure 2.5 : Schéma du procédé d'hydrotraitement du Naphta	27
Figure 2.6 : Schéma du principe de procédé d'isomérisation	30
Figure 2.7 : Schéma générale du procède de reformage catalytique	32
Figure 2.8 : Schéma du procédé de craquage catalytique	34
Figure 2.9 : Schéma récapitulatif du processus de production de l'essence sans plomb à la raffinerie d'Alger	36
Figure 2.10 : Résolution du système mathématique	44
Figure 3.1 : Densité de différentes bases de production d'essence sans plomb	50
Figure 3.2 : la TVR de différentes bases de formulation d'essence sans plomb	51
Figure 3.3 : Indice d'octane (NO) de différant base d'essence sans plomb	51
Figure 3.4 : Températures de distillation de différente base d'essence sans plomb	52
Figure 3.5 : Teneur en soufre de différente base de production d'essence sans plomb	53

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1: Quelques formules de paraffines	4
Tableau 1.2 : Classification générale des hydrocarbures	5
Tableau 1.3 : Classification de pétrole brut en fonction de sa densité	6
Tableau 1.4 : Propriétés de composés oxygénés	17
Tableau 2.1 : Capacité de production annuelle de la raffinerie d'Alger	22
Tableau 2.2: Point de fractionnement des coupes pétrolières.	24
Tableau 2.3: Réactions du procédé de reformage catalytique	32
Tableau 2.4: Réactions du procédé de craquage catalytique.	34
Tableau 2.5: Différents composés chimiques utilisés pour la formulation d'essence.	37
Tableau 2.6 : Principales caractéristiques des additifs	38
Tableau 2.7: Liste des instruments de mesure utilisés	39
Tableau 2.8 : Pourcentages volumiques des constituants de l'essence sans plomb.	44
Tableau 2.9 : Spécifications des essences sans plomb.	46
Tableau 3.1: Résultats d'analyse du naphta total	47
Tableau 3.2: Résultats d'analyse isomérat	48
Tableau 3.3: Résultats d'analyse du reformat	49
Tableau 3.4: Résultats d'analyse du Gasoline	49
Tableau 3.5 : Résultats expérimentaux pour l'essence préparé	54
Tableau 3.6 : Composition chimiques des préparations d'essence	54
Tableau 3.7: Résultats des analyses après l'ajout de Méthanol	55
Tableau 3.8: Résultats des analyses après l'ajout du Ethanol	57
Tableau 3.9: Résultats des analyses après l'ajout de MTBE	59
Tableau 3.10 : Valeurs optimales de chaque additif	60
Tableau 3.11 : Avantages et inconvénients d'éthanol et MTBE	61
Tableau 3.12 : les caractéristiques d'un mélange d'essence préparé a base de MTBE	62

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le pétrole ou les hydrocarbures en générale sont considérés comme les piliers de l'économie en Algérie; le pétrole brut est le cœur de l'industrie Algérienne, c'est le produit de base de toute l'industrie du pays et en même temps la principale source de ses revenus, ce qui a incité les responsables de notre pays à accorder une importance spéciale pour ce produit énergétique tant convoité à l'échelle mondial [1].

Le raffinage du pétrole est un procédé qui permet la transformation du pétrole brut en plusieurs coupes pétrolières distinctes, telles que les carburants : l'essence, le kérosène et le gasoil.

Parmi ces produits, l'essence est la plus demandée, car il est indispensable dans le secteur des transports et doit répondre à des critères de qualité de plus en plus stricts pour garantir de meilleures performances des véhicules.

Les véhicules à essence plombée rejettent des polluants qui ont un effet nocif sur l'environnement et la santé humaine, pour cela les industries des carburants doivent aboutir à des modifications concernant la formulation des carburants, pour produire des carburants plus propres. De ce fait, la suppression complète du plomb des essences est devenue une nécessité, ce qui a entraîné les raffineurs à fournir d'importants efforts afin de maintenir l'indice d'octane à un niveau satisfaisant.

Des solutions ont été proposées, parmi lesquelles d'adapter des stratégies plus fiables en installant de nouvelles unités comme l'unité de reformage catalytique et d'incorporer des produits oxygénés comme l'éthanol et le MTBE qui permettent de réduire les concentrations des composants polluants et d'accroître l'indice d'octane [2].

L'élimination graduelle de l'essence contenant le plomb et la demande accrue d'essence avec un indice élevé d'octane, influent fortement sur l'industrie du raffinage, Les industries pétrolières n'ont pas cessé d'améliorer la qualité des essences depuis l'apparition de l'automobile sur le marché. Les raffineurs ont travaillé dans le but de satisfaire la demande croissante du marché en carburant de bonne qualité en respectant la quantité importante afin de répondre aux exigences des normes internationales tout en minimisant les effets nuisibles sur la faune, la flore et la santé humaine [3].

La production d'essence sans plomb qui réponde aux normes représente un défi pour l'industrie pétrolière Algérienne. C'est dans ce cadre où le présent travail consiste à étudier la production de l'essence sans plomb au niveau de la raffinerie d'Alger, en effectuant des analyses de bases concernant sa formulation, afin de garantir sa conformité aux réglementations nationales. Par ailleurs, nous nous sommes intéressés spécifiquement à évaluer l'impact et l'efficacité de l'ajout des additifs oxygénés tels que le MTBE, l'éthanol et le méthanol sur les caractéristiques d'essence (indice d'octane, densité, Tension de vapeur), dans le but d'identifier la formulation optimale permettant d'obtenir une essence avec un indice élevé d'octane conforme aux normes Algériennes et capable de satisfaire la demande croissante du marché.

Cette étude est structurée en une introduction générale qui présente une idée globale sur le thème abordé et trois chapitres comme suit :

- Le premier chapitre englobe la partie théorique, il présente une étude bibliographique sur le pétrole brut, le raffinage et les essences,
- Le deuxième chapitre présente la raffinerie d'Alger (RA1G) et les procédés de production d'essence sans plomb. Il décrit également le matériel, les matériaux utilisés et les protocoles expérimentaux suivis dans le cadre de notre étude.
- Le dernier chapitre dévoile les résultats obtenus à partir des essais réalisées sur les différentes charges et produits issus dans la production d'essence ainsi que leurs interprétations. Aussi, il traite l'effet de l'ajout des additifs choisis sur les propriétés de l'essence, notamment l'indice d'octane, la tension de vapeur et la densité.

Notre mémoire est achevé par une conclusion générale qui récapitule l'ensembles des résultats trouvés au cours de cette étude ainsi quelques recommandations et perspectives.

PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE 1

PARTIE THEORIQUE

Le pétrole brut, ressource fossile d'une importance stratégique, constitue aujourd'hui l'un des piliers majeurs du développement industriel et économique mondial. Couvrant près de 60% des besoins énergétiques planétaires, il sert de matière première pour la fabrication de nombreux produits tels que les carburants, les plastiques et les lubrifiants et les produits pétrochimiques.

Sa transformation repose sur le raffinage, un ensemble d'opérations chimiques et physiques permettant de convertir le brut en produits finis, adaptés aux exigences du marché.

1.1 Généralités sur le pétrole brut

1.1.1 Définition

Le pétrole, vient du mot latin " Petra " et " oléum", soit 'Huile de pierre'. C'est un liquide brun plus ou moins visqueux d'origine naturelle, un mélange complexe d'hydrocarbures. Son exploitation est l'un des piliers de l'économie industrielle contemporaine. Le pétrole est aussi souvent appelé " Or noir" en référence à sa couleur et à son coût élevé [4].

Le pétrole constitue une source d'énergie majeure, mais sa formation s'étend sur des millions d'années, tandis que son exploitation dépasse largement sa capacité naturelle de régénération, ce qui en fait une ressource limitée [5].

1.1.2 Composition

Les composants essentiels du pétrole sont le carbone (représentant entre 83 et 87% de sa composition) et l'hydrogène (représentant entre 11 et 14%). Ces deux éléments se combinent pour former les divers groupes d'hydrocarbures présents dans le pétrole. Parmi les composants du pétrole, tels que des composés oxygénés, soufre et l'azote, qui peuvent représenter jusqu'à 6 ou 7% de sa composition totale, aussi on a pu constater la présence dans les cendres du pétrole du chlore, phosphate, silicium et des métaux tels que : K, Na, Ca, Fe, Ni... etc [6]

Les hydrocarbures contenus dans le pétrole appartiennent aux trois groupements suivants :

- Les paraffines (alcanes),
- Les naphthènes,
- Les hydrocarbures aromatiques.

1.1.3 Principales familles d'hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des composés chimiques organique constitués d'atomes de carbone et d'hydrogène. Ils peuvent être classés en plusieurs familles principales en fonction de leur structure et de leurs liaisons chimiques. Voici les principales familles d'hydrocarbures [7] :

1.1.3.1 Hydrocarbures saturés

Ils ont une chaîne carbonée ouverte et uniquement des liaisons simples, ils se divisent en deux catégories :

- **Les paraffines (ou alcanes)** : elles sont constituées de chaînes d'atomes de carbone liés à l'hydrogène et peuvent être structurées en chaînes droites ou ramifiées. La formule générale est : $C_n H_{2n+2}$
- **Les naphènes ou cyclo-alcanes** : sont des alcanes cycliques dans lesquels les chaines se ferment sur elles -même pour former des cycles, leur formule générale est de $C_n H_{2n}$.

Le tableau suivant englobe quelques formules de paraffines.

Tableau 1.1: Quelques formules de paraffines [8].

Nom	Formule brute	Masse molaire (g/mol)	Point d'ébullition (°C)
Méthane	CH ₄	16,04	-161,5
Éthane	C ₂ H ₆	30,07	-88,6
Propane	C ₃ H ₈	44,10	-42,1
n-Butane	C ₄ H ₁₀	58,12	-0,5
Isobutane	C ₄ H ₁₀	58,1	- 11,7

1.1.3.2 Hydrocarbures insaturés

Les hydrocarbures insaturés sont des hydrocarbures dont tous les carbones ne sont pas liés à d'autres composés par des liaisons simples, mais qui comportent quelques doubles ou triples liaisons. Il existe deux types d'hydrocarbures insaturés :

- **Oléfines ou alcènes** : contiennent une ou plusieurs doubles liaisons.
- **Acétylénique ou alcynes** : contiennent une ou plusieurs triples liaisons.

1.1.3.3 Hydrocarbures aromatiques

Ils contiennent un ou plusieurs cycles aromatiques à structure conjuguée, avec des doubles liaisons délocalisées qui leur assurent une grande stabilité. En effet, les premiers termes (benzène, toluène, xylène) sont des matières premières fondamentales de la pétrochimie et contribue également à augmenter l'indice d'octane d'une essence. Les trois grandes familles d'hydrocarbure sont représentées par le tableau 1.2.

Tableau 1.2 : Classification générale des hydrocarbures [7].

Type de Famille	Désignation Courante	Désignation Officielle	Motif Structural	Formule Globale
Saturés	Paraffines	Alcanes	$\begin{array}{c} \quad \\ - C - C - \\ \quad \end{array}$	C_nH_{2n+2}
	Naphtènes	Cyclanes	Cycle à 3,4,5 ou 6 carbones	C_nH_{2n}
Insaturés	Oléfines	Alcènes	$\begin{array}{c} \quad \\ - C = C - \\ \quad \end{array}$	C_nH_{2n}
	Acétylénique	Alcynes	$\begin{array}{c} \quad \\ - C \equiv C - \\ \quad \end{array}$	C_nH_{2n-2}
Aromatiques	Aromatiques	-		C_nH_{2n-6}

1.1.4 Classifications du pétrole

La classification du pétrole est d'une extrême importance car elle permet de déterminer les traitements nécessaires pour obtenir les produits finis désirés, de garantir la qualité de ces produits et de valoriser les pétroles bruts en fonction de leur composition et de leurs propriétés. On distingue trois types de classification [9]:

1.1.4.1 Classification industrielle

a) Classification selon le degré American Petroleum Institute (API)

La classification par API est la méthode la plus courante pour classer les pétroles bruts. Elle se base sur la densité du pétrole brut par rapport à l'eau. Plus la valeur API est élevée, plus le pétrole est léger et plus sa valeur est élevée.

❖ °API est exprimée par la formule :

$$\text{API} = \frac{141,5}{\text{Densité (60°F)}} - 131,5 \quad (1.1)$$

- Le pétrole est léger (light) si le degré API est supérieur à 31,1.
- Le pétrole est moyen (médium) s'il est compris entre 22,3 et 31,1.
- Le pétrole est lourd (heavy) s'il est compris entre 10 et 22,3.
- Le pétrole est extra lourd (extra heavy) s'il est inférieur à 10.

b) Classification selon la densité d^{15}

La classification par densité est une méthode plus précise que la classification par API. Elle se base sur la masse volumique du pétrole brut à 15 °C.

La densité est exprimée par la formule:

$$d^{15} = \frac{\rho_{\text{pétrole brut}}}{\rho_{\text{eau}}} \quad (1.2)$$

Généralement, on classe les pétroles bruts en fonction de la densité en trois grandes catégories comme indiqué sur le Tableau 1.3 :

Tableau 1.3 : Classification de pétrole brut en fonction de sa densité [7].

Brut	Densité
Les bruts légers	0,80 - 0,836
Les bruts moyens	0,83 - 0,88
Les bruts lourds	> 0,88

1.1.4.2 Classification chimique

En fonction de la prédominance d'une ou plusieurs familles des hydrocarbures, On distingue les types de pétroles bruts suivants :

- Un pétrole paraffiniques (États Unis),

- Un pétrole naphtéinique (Rép d'Azerbaïdjan),
- Un pétrole paraffino-naphtéinique (Algérie),
- Un pétrole aromatique (Indonésie),
- Un pétrole naphténo-aromatique (Californie),
- Un pétrole par-naph-aromatique (mixte).

La classification chimique ne reflète pas la vraie nature du pétrole car la répartition des légers dans les fractions est différente aussi les fractions lourdes contiennent des hydrocarbures mixtes et donc cette classification ne peut pas nous renseigner complètement sur la quantité et la qualité des produits à obtenir.

Actuellement, la méthode la plus complète et donc la plus utilisée reste la méthode technologique.

1.1.4.3 Classification technologique

Elle est basée sur un ensemble de critères qui sont [10] :

a) selon la teneur en soufre : le pétrole se divise en trois classes :

- **Classe 1** : Pétrole peu sulfureux : $S \leq 0,5 \%$ (% massique),
- **Classe 2** : Pétrole sulfureux : $0,5 < S \leq 2 \%$,
- **Classe 3** : Pétrole très sulfureux : $S > 2 \%$.

b) Teneur potentielle en produits clairs ($PF \leq 350^\circ\text{C}$) : on distingue trois types comme suivant :

- **Type 1** : teneur élevée, $PF = 350^\circ\text{C}$ supérieure à 45% (pétrole léger),
- **Type 2** : teneur moyenne, entre 30 et 45%. (pétrole moyen),
- **Type 3** : teneur faible, inférieure à 30% (pétrole lourd).

c) Teneur en huiles de base et leurs qualités : en fonction de la teneur en huiles de base et d'huile résiduelle, on distingue les groupes et en fonction de leurs qualités (indice de viscosité), on distingue les sous-groupes.

d) Teneur en paraffines dans le pétrole : en fonction de la teneur en paraffines et de la possibilité de la fabrication des carburateurs et des carburants diesel et des huiles de distillat de base à partir du pétrole brut, avec ou sans déparaffinage, on distingue trois espèces de pétrole :

- Pétrole peu paraffiniques $\leq 1,5\%$,
- Pétrole paraffiniques 1,5 à 6%,
- Pétrole très paraffiniques $> 6\%$.

1.1.5 Raffinage du pétrole brut

Le raffinage du pétrole est un processus industriel permet de séparer, convertir et purifier les différents composants du pétrole brut en produits finis à haute valeur ajoutée, conformes aux spécifications du marché et aux normes environnementales en constante évolution. Les produits issus du raffinage sont classés en deux grandes catégories [11] :

- Produits énergétiques, utilisés comme carburants (essence, gasoil, kérosène) ou combustibles (fioul),
- Produits non énergétiques, servant de matières premières pour d'autres industries, notamment la pétrochimie (naphta, bases lubrifiantes, bitume).

Le raffinage ne se limite plus aujourd'hui à la séparation des différents hydrocarbures. Des procédés chimiques complexes sont également mis en oeuvre afin d'optimiser les produits finaux. Les différentes coupes pétrolières peuvent ainsi subir des transformations, des améliorations et des mélanges pour obtenir des produits commercialisés et répondre notamment aux nouvelles normes environnementales comme indique la figure suivante [11] :

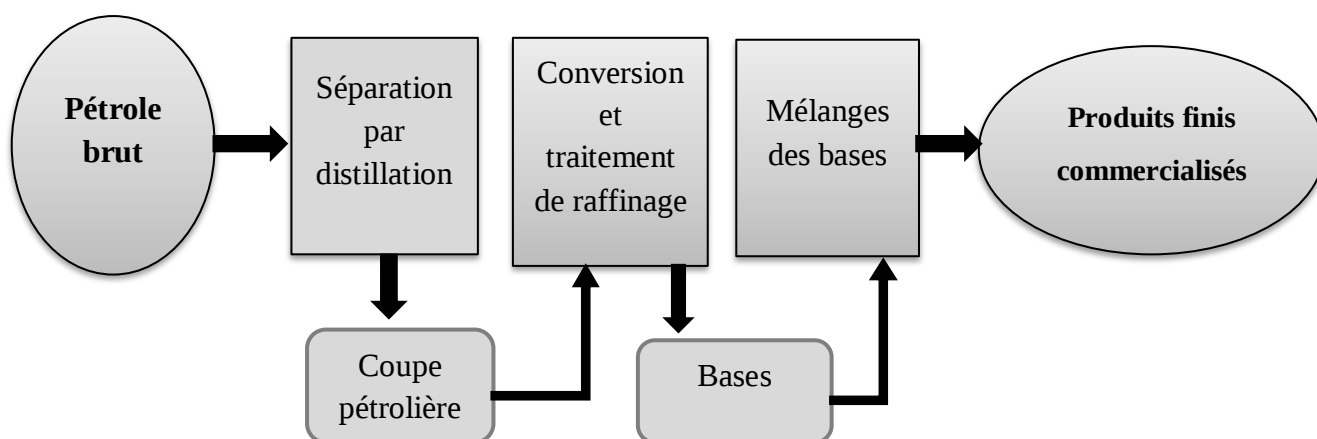


Figure 1.1 : Différentes coupes pétrolières [11].

1.1.5.1 Processus de raffinage du pétrole : le raffinage repose sur trois étapes principales comme suivantes :

a) Séparation : le pétrole brut est séparé physiquement par fractionnement, dans des tours de distillation atmosphérique et sous vide, en groupes d'hydrocarbures possédant différents intervalles d'ébullition, appelés « fractions » ou « coupes » [12]. L'unité de distillation fonctionne à une température d'environ 360°C et à une pression de quelque bars. Elle permet de séparer le pétrole brut en différentes coupes qui constitueront les bases des produits finaux. De haut en bas de la colonne, on trouve donc : les gaz, le naphta, le kérosène et le diesel. Les

résidus sont traités sous vide dans une seconde colonne de distillation pour produire des huiles de lubrification industrielles, des paraffines, du fioul lourd et du bitume [13] .

b) Conversion : transforme les fractions lourdes en produits plus légers et de plus grande valeur tels que l'essence, grâce à des procédés comme le craquage catalytique ou l'hydrocraquage.

c) Traitement de finition : élimine les impuretés (par exemple, la désulfuration pour réduire la teneur en soufre) et améliore la qualité des produits raffinés et prépare les mélanges finaux conformes aux normes commerciales [14].

Ces produits pétroliers raffinés peuvent être divisés en deux grandes catégories: les carburants et les produits non-carburants. Les carburants comprennent l'essence, le diesel, le kérosène et le gaz de pétrole liquéfié (GPL), tandis que les produits non-carburants incluent le fioul lourd, le bitume, les lubrifiants, les cires, les graisses et les huiles minérales.

Parmi ces produits, l'essence se distingue comme la fraction la plus valorisée du pétrole en raison de son importance stratégique et économique. Le schéma général est représenté par la figure suivante :

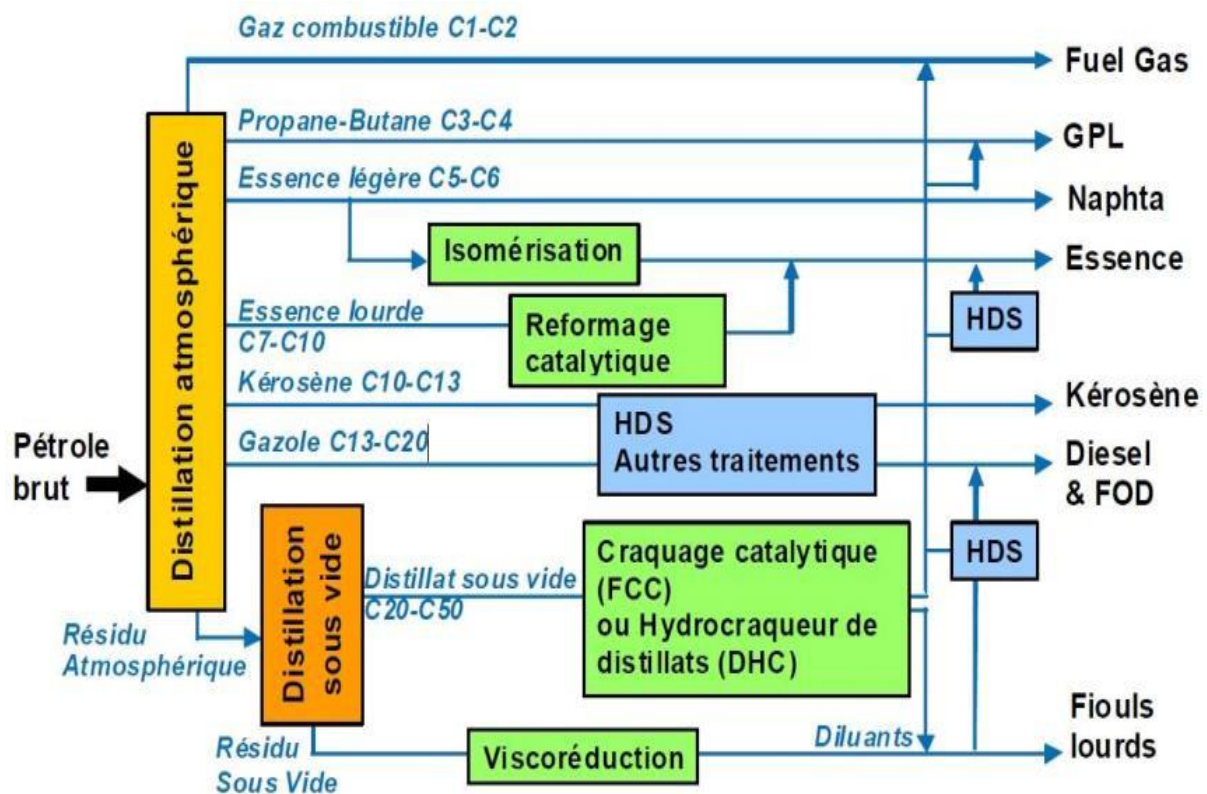


Figure 1.2: Schéma général du raffinage du pétrole brut [13].

1.2 Généralités sur l'essence

1.2.1 Définition

L'essence est produite à partir du pétrole brut par raffinage. Il est constitué d'un mélange de plus de 230 hydrocarbures différents, dont le nombre d'atome de carbone varie entre 4 et 12. Ce produit est un liquide de couleur jaune très pâle, transparente, ayant une odeur caractéristique, facilement inflammable et très volatile [7].

Les essences sont utilisées comme carburant issu du raffinage du pétrole qui peut alimenter un moteur thermique ou les moteurs à combustion interne à allumage commandé. Celui-ci transforme l'énergie chimique du carburant en énergie mécanique [15].

1.2.2 Composition

L'essence est un mélange complexe d'hydrocarbures légers (C5 à C11) et des additifs. Sa composition typique comprend :

- Environ 20 % à 30 % d'hydrocarbures saturés (paraffines) sont présents.
- 5 % de cycloalcanes sont des hydrocarbures saturés cycliques.
- 30 % à 45 % d'alcènes sont des hydrocarbures insaturés.
- 15 % à 45 % sont des hydrocarbures aromatiques de la famille du benzène [15] .

1.2.3 Différents types d'essence

Les essences carburant se distinguent par leur indice d'octane et se classent en deux types principaux : l'essence sans plomb ordinaire et essence sans plomb super .

➤ Essence ordinaire

L'essence ordinaire est principalement constituée d'un mélange d'hydrocarbures de diverses structures, notamment paraffiniques, oléfiniques, naphéniques et aromatiques (environ 4 % de benzène), avec une température de distillation inférieure à 205 °C. Son indice d'octane, qui mesure l'efficacité de la combustion, se situe généralement entre 91 et 92 [16] .

➤ Essence super

L'essence super est similaire à l'essence ordinaire mais est soumise à un processus de raffinage spécifique pour améliorer son indice d'octane, généralement compris entre 95 et 99. Sa composition diffère de l'essence ordinaire en ce sens que la teneur en benzène est plus élevée (entre 4 et 6 %). De plus, la teneur en soufre est généralement plus élevée, atteignant environ 0,5% [16].

En Algérie, la production actuelle se concentre sur le GPL-C et l'essence sans plomb (NO91), car le pays a arrêté en 2021 la commercialisation de l'essence super avec plomb dans les stations-service, conformément à la décision du ministère de l'énergie qui la jugeait trop polluante pour l'environnement [17].

1.2.3.1 Différence entre l'essence plombée et l'essence sans plomb

La principale différence entre l'essence plombée et l'essence sans plomb est donc la présence ou l'absence de plomb tétraéthyle. Les normes environnementales ont conduit à l'abandon de l'utilisation du plomb dans l'essence dans de nombreux pays, car il a été constaté que le plomb pouvait provoquer des problèmes de santé, tels que des troubles neurologiques, chez les personnes exposées à de fortes concentrations de plomb. En dehors de cela, l'essence plombée et l'essence sans plomb ont des propriétés similaires, telles que leur densité et leur indice d'octane. Les deux peuvent être utilisées dans les mêmes moteurs à combustion interne, bien que certains moteurs plus anciens conçus pour l'essence avec plomb puissent nécessiter des ajustements pour fonctionner correctement avec de l'essence sans plomb.

L'essence sans plomb est moins polluante pour l'environnement que l'essence plombée, et offre de meilleures performances pour les moteurs du fait de sa richesse en octane.

Les avantages de l'introduction de l'essence sans plomb dans les véhicules sont nombreux :

- Réduction importante des émissions des gaz nocifs qui polluent l'atmosphère.
- Réduction d'infiltration des composés de plomb dans le sol et l'eau.
- Plus économique pour les automobilistes, en matière d'entretien (vidanges et services).

1.2.4 Caractéristiques d'essence

- **Densité**

La densité est le rapport entre la masse d'un volume d'essence et la masse d'un même volume d'eau, généralement mesurée à une température de référence de 15°C.

La densité d'essence varie légèrement en fonction de la composition en hydrocarbures du mélange, mais elle est généralement entre 0,720 et 0,775.

Si on utilise une essence de faible densité, elle entraînera une augmentation de la consommation et une mauvaise vaporisation. Avec une essence de forte densité, la consommation spécifique diminue, mais la pauvreté du mélange carburé se traduit par un manque de puissance.

- **Couleur**

Pour les produits légers, la couleur est un paramètre crucial pour évaluer la qualité du processus de fractionnement. Bien qu'elle ne soit pas pertinente du point de vue de l'efficacité du moteur, elle revêt une grande importance sur le plan commercial. La couleur d'un carburant s'examine par transparence par comparaison avec des verres étalons.

- **Volatilité**

La volatilité est un paramètre essentiel dans l'évaluation des performances de l'essence. Elle correspond à la capacité du carburant à s'évaporer à une température donnée, condition nécessaire à la formation du mélange air-carburant et à sa bonne pulvérisation dans la chambre de combustion .

Cette propriété influence directement le démarrage du moteur, sa stabilité au ralenti, ainsi que ses performances globales. Une essence trop volatile par temps chaud peut entraîner la formation de bouchons de vapeur (vapor lock), provoquant des arrêts du moteur. À l'inverse, une volatilité insuffisante en période froide complique le démarrage à froid et ralentit la montée en température du moteur.

Pour assurer un fonctionnement optimal dans toutes les conditions climatiques, la formulation de l'essence est ajustée selon les saisons et les régions. Cet ajustement vise à maintenir une volatilité adéquate afin de garantir une atomisation efficace, en particulier lors des démarrages à froid.

- **Distillation ASTM de l'essence**

La courbe de distillation des essences décrit la répartition des composants volatils de l'essence en fonction de leur température d'évaporation. Elle est généralement mesurée selon la méthode de distillation ASTM (American Society for Testing and Materials). La courbe de distillation indique les températures auxquelles différents pourcentages de l'essence s'évaporent, permettant de classer l'essence en différentes fractions, telles que les fractions légères, moyennes et lourdes [7].

Les caractéristiques de distillation sont d'une importance critique pour les essences automobiles et aéronautiques, affectant le démarrage, le réchauffement et la tendance au blocage de la vapeur à haute température de fonctionnement ou à haute altitude, ou les deux. La présence de composants à point d'ébullition élevée dans ces carburants et d'autres peut avoir une incidence importante sur le degré de formation de dépôts de combustion solides dans le moteur.

- **Tension de vapeur Reid (TVR)**

La tension de vapeur Reid (TVR) est une caractéristique essentielle dans le domaine pétrolier, notamment pour le stockage et le transport des produits. Elle est définie comme la pression absolue exercée par la vapeur d'un liquide et ses gaz dissous à 37,8 °C (100 °F). Exprimée en kilopascals (kPa), elle sert à évaluer la volatilité de l'essence : plus la TVR est élevée, plus l'essence s'évapore rapidement à des températures relativement basses. Exigences de la tension de vapeur Reid (TVR) :

- ❖ **Été** : TVR < 0,65 bar ,
- ❖ **Hiver**: TVR < 0,8 bar.

- **Indice d'octane**

L'indice d'octane mesure la résistance d'un carburant à détonation, phénomène provoque les cliquetis dans les moteurs à essence. Plus l'indice est élevé, plus le carburant est résistant au cliquetis. Il est déterminé en comparant le carburant à un mélange standardisé d'isooctane et de n-heptane.

Deux indicateurs d'indice d'octane sont utilisés pour évaluer la performance des carburants vendus en station-service [18] :

- L'indice de recherche d'octane (RON) : représente le comportement d'un carburant à un régime moteur bas de 600 tr/min.
- L'indice d'octane moteur (MON) caractérise la résistance d'un carburant au cliquetis dans des conditions sévères de fonctionnement, notamment à haut régime moteur (900 tr/min).

La plupart des carburants vendus dans le monde entier sont évalués selon l'indice RON.

a) Facteurs influençant l'indice d'octane : l'indice d'octane augmente lorsque [18] :

- La réduction de la longueur des chaînes carbonées,
- L'augmentation du nombre de structures cycliques notamment les cyclo alcanes et les hydrocarbures aromatiques, qui présentent une meilleure résistance au cliquetis,
- L'augmentation du nombre de chaînes secondaires (pour un même nombre d'atomes de carbone).

L'indice d'octane peut également être amélioré par l'utilisation des additifs.

b) Incidence de l'indice d'octane sur le fonctionnement du moteur:

Le bon fonctionnement d'un moteur dépend en grande partie de l'indice d'octane de l'essence utilisée, qui est lié au taux de compression du moteur. Ce taux représente le rapport

entre le volume de la chambre de combustion lorsque le piston est en bas et celui lorsqu'il atteint sa position haute. Plus ce taux est élevé, plus l'indice d'octane requis doit l'être également.

Lorsque le taux de compression augmente, le rendement du moteur s'améliore. Toutefois, cette amélioration s'accompagne d'une élévation des contraintes dans la chambre de combustion. En effet, la pression accrue entraîne une hausse de la température des gaz. Dans certaines conditions, ces gaz peuvent s'enflammer prématurément, sans intervention de l'étincelle de la bougie. Ce phénomène est appelé auto-inflammation ou auto-allumage.

Ce type d'inflammation non contrôlée provoque des détonations nuisibles, susceptibles d'endommager les pistons. Afin d'éviter ce phénomène, l'essence est enrichie en additifs antidétonants. L'auto-allumage se manifeste souvent par des cliquetis métalliques perceptibles à l'oreille. Ces bruits deviennent encore plus prononcés à haut régime, où leurs effets destructeurs sur le moteur sont aggravés.

- **La teneur en soufre**

En dehors de ces qualités primordiales concernant la volatilité (distillation ASTM, TVR) et l'indice d'octane, le carburant automobile ne doit pas contenir de composés sulfurés malodorants ni de produits acides susceptibles de corroder les réservoirs et les moteurs. Les ennuis causés par la présence de soufre dans les essences sont de divers ordres. La combustion donne des anhydrides sulfureux et sulfurique qui en présence de la vapeur d'eau forment un acide sulfurique dilué particulièrement corrosif. Quand le moteur tourne, ces fumées nocives polluent l'atmosphère à l'arrêt le moteur se refroidit et par condensation les produits de combustion piquent les chemises.

En prenant en compte tout ce qui a été mentionné précédemment, il apparaît clairement que la transition vers l'essence sans plomb représente un double défi, à la fois technique et économique, pour les raffineries africaines. Sur le plan technique, cette évolution implique une attention particulière à la nature du pétrole brut utilisé (son origine et sa composition) ainsi qu'une adaptation des procédés de raffinage afin d'assurer la conformité du produit final aux nouvelles normes. D'un point de vue financier, cette transition nécessite des investissements importants pour moderniser les installations existantes et répondre aux exigences croissantes en matière de qualité des carburants [18].

1.2.5 Spécifications des essences

Les spécifications des essences regroupent l'ensemble des exigences techniques, réglementaires et environnementales que doit respecter un carburant destiné aux moteurs à allumage commandé. Elles visent à assurer une combustion efficace, à protéger le moteur, à limiter les émissions polluantes et à garantir la durabilité du système d'alimentation.

Au cours des 20 dernières années, ces spécifications ont considérablement évolué, notamment avec l'élimination du plomb, la réduction des teneurs en soufre et l'encadrement plus rigoureux des courbes de distillation, telles que la pression de vapeur et le point final. À l'échelle mondiale, des normes strictes fixent les seuils admissibles pour plusieurs propriétés physico-chimiques de l'essence : indice d'octane, densité, volatilité, stabilité à l'oxydation, teneur en composés aromatiques, ainsi que la présence des additifs fonctionnels comme les antidétonants, antioxydants et détergents.

Des discussions sont en cours pour rendre certaines spécifications des essences plus strictes. De plus en plus, l'indice d'octane moteur est pris en compte en complément du nombre d'octane recherché. Les valeurs retenues dépendent évidemment des véhicules disponibles localement. L'étude des spécifications des essences vise à caractériser la relation entre le carburant et le moteur, en termes de performances. Cela comprend l'analyse de l'incidence des différentes caractéristiques sur la puissance, la consommation, le démarrage, les reprises, l'entretien et le confort de conduite [7].

Ces spécifications varient selon les pays, en fonction des conditions climatiques, des normes environnementales et des exigences propres à chaque marché automobile. Leur évolution continue est essentielle pour assurer des performances optimales du moteur, à réduire les émissions polluantes et à garantir la durabilité du système de carburant.

Il convient de suivre de près les développements et les mises à jour concernant les spécifications des essences, car elles jouent un rôle essentiel dans l'optimisation des performances et de l'efficacité énergétique des véhicules, ainsi que dans la préservation de l'environnement [7].

1.2.6 Additifs pour l'essence

Pour adapter les essences aux nouvelles spécifications et améliorer l'indice d'octane, on ajoute des additives. Parmi ces additifs les antidétonants ont une importance spéciale car ces agents augmentent le RON et assure une bonne combustion du carburant et bonnes performances pour le moteur.

L'incorporation de ces additifs permet de formuler des essences conformes aux exigences réglementaires actuelles, alors les principaux additifs sont :

- **Additifs organométalliques** : Ils contiennent des composés organométalliques, tels que le plomb tétraéthyle, qui étaient utilisés pour augmenter l'indice d'octane de l'essence. Cependant, leur toxicité a conduit à l'interdiction mondiale de l'essence plombée en 2021 [17]. Des substituts, tels que le potassium, le phosphore, le manganèse, ont été testés, mais leurs effets secondaires, notamment la corrosion des soupapes, ont limité leur utilisation.
- **Composés oxygénés** : Ces additifs sont également utilisés pour augmenter l'indice d'octane des essences comme le MTBE, l'ETBE, le méthanol et l'éthanol.

1.2.7 Composés oxygénés

La loi sur la politique énergétique (Energy Policy Act) promulguée en 1992 oblige les compagnies pétrolières à ajouter un composé oxygéné à leur carburant dans le but de réduire les émissions dues aux gaz d'échappement. Cette réglementation a accéléré l'intégration des composés oxygénés dans les formulations des essences, surtout après l'interdiction progressive du plomb, reconnu pour sa forte toxicité. Ces composés, caractérisés par la présence d'atomes d'oxygène dans leur structure moléculaire, permettent non seulement d'élever l'indice d'octane, mais aussi d'assurer une combustion plus complète, contribuant ainsi à la diminution des émissions polluantes [19,20].

Les composés oxygénés, qui sont des substances contenant de l'oxygène comme les alcools ou les éthers, peuvent être mélangés à l'essence en petites quantités (d'ordinaire 5% à environ 15%), afin d'améliorer la qualité du carburant. Les principaux additifs oxygénés sont :

- **Ethers** : les éthers oxygénés sont des composés organiques présentant une structure chimique stable et une bonne miscibilité avec l'essence, tels que le MTBE, l'ETBE, et le TAME. Ce sont aussi des substances très volatiles, qui peuvent se déplacer rapidement dans les eaux souterraines, ce qui pose parfois des problèmes environnementaux. Malgré cela, leur utilisation dans les formulations de carburants permet de réduire les émissions de monoxyde de carbone (CO) et d'hydrocarbures imbrûlés, tout en améliorant l'indice d'octane du carburant. De plus, ils restent compatibles avec les moteurs à allumage commandé, ce qui en fait des additifs intéressants pour les carburants modernes.
- **Alcools** : sont des composés oxygénés tels que l'éthanol et le méthanol qui sont intégrés dans les formulations d'essence pour enrichir la teneur en oxygène du carburant. Ce sont des substances très solubles, hydrophiles et volatiles et sont globalement dégradables. Ils

présentent donc une forte mobilité dans les eaux souterraines et l'air, mais leurs possibilités de transfert sont limitées par leur cinétique de dégradation relativement élevée.

Dans le tableau ci-dessous sont présentées les propriétés physico-chimiques des composés oxygénés utilisés comme additifs dans les essences.

Tableau 1.4 : Propriétés de composés oxygénés [7].

Caractéristiques	MTBE	ETBE	TAME	Méthanol	Éthanol	TBA
Masse volumique (kg/m ³)	746	750	750	796	794	792
Température d'ébullition (°C)	55,3	72,8	86,3	64,7	78,3	82,0
Pression de vapeur (bar)	0,55	0,4	0,25	5,24	1,54	1,03
Chaleur de vaporisation (kJ/kg)	337	321	314	1100	854	510
Teneur en oxygène (% masse)	18,2	15,7	15,7	49,9	34,7	21,6
RON	118	118	115	123-130	120	105
MON	101	101	100	95	99	95

1.2.7.1 Méthyl tert-butyl éther MTBE

- **Identité de la substance**

Le méthyl tert-butyl éther ou MTBE est un composé organique oxygéné. C'est un liquide, incolore, volatil, inflammable, et non miscible à l'eau. Le MTBE a une odeur particulière, c'est un excellent composant d'essence à indice d'octane élevé. Il a commencé à être utilisé dans l'essence à de faibles niveaux depuis 1979 pour remplacer le plomb tétraéthyle et augmenter son indice d'octane en aidant à prévenir le cliquetis. A partir de 1992, le MTBE a été utilisé à des concentrations plus élevées dans certaines essences pour remplir les exigences d'oxygénation fixées par le Congrès américain dans les amendements du « Clean Air Act » [21].

- **Composition**

Le MTBE est un éther aliphatique de formule générale C₅H₁₂O et de formule semi-développée (Figure 1.3). Il a une teneur en oxygène de 18% poids, un indice d'octane (moyenne) de 118 [21]. C'est une substance chimiquement stable qui ne se polymérise pas et ne se décompose pas à la température ambiante. Le MTBE est synthétisé par la réaction de l'isobutène avec le méthanol, en présence d'un catalyseur acide. Bien qu'il soit efficace pour améliorer les propriétés antidétonantes des essences, son utilisation est parfois pose certains problèmes tant au

niveau potabilité de l'eau (odeur, gout acres) qu'au niveau environnemental. Des études effectuées indiquent que le MTBE peut être cancérogène chez les animaux [22]. La figure ci-dessous représente la structure chimique du MTBE.

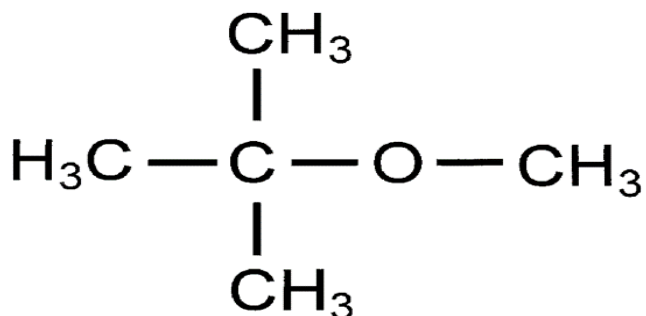


Figure 1.3 : Structure chimique du MTBE.

1.2.7.2 Méthanol

Le méthanol est un alcool simple, dont la formule chimique est CH_3OH . Il est utilisé comme additif oxygéné grâce à son indice d'octane élevé et sa capacité à favoriser la combustion en mélange pauvre. C'est un produit agressif pour certains matériaux, organiques ou métalliques, et son pouvoir calorifique est inférieur à celui de l'essence.

Le méthanol est principalement synthétisé par vapogazéification de matières premières telles que le charbon, les résidus lourds pétroliers (coke, asphalte), le gaz naturel, ou encore la biomasse, (notamment dans des pays riches en ressources forestières comme l'Afrique ou le Brésil). Ainsi, il est d'origine majoritairement non renouvelable, bien qu'une production issue de la biomasse soit envisageable à des fins durables [23].

1.2.7.3 Ethanol

L'éthanol, ou alcool éthylique, est un additif à l'essence ayant un indice supérieur d'octane et ne contenant pas d'eau, produit à partir de la fermentation de sucre ou d'amidon des plantes. C'est un liquide incolore, volatil et inflammable, de formule chimique $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$.

L'idée d'utiliser l'éthanol comme carburant a été conçue par Henry Ford, quand il développait sa première automobile. Aux Etats-Unis, l'utilisation du mélange d'essence à base d'éthanol a débuté vers la fin des années 1970, et a contribué à réduire les émissions de monoxyde de carbone, tel que requis par le Clean Air Act de 1990.

Traditionnellement, l'éthanol est mélangé dans une proportion de 5 à 10% à l'essence (sous l'appellation de E5 ou E10, respectivement) ou il peut être utilisé comme produit de base pour la production d'additif à haute teneur d'octane destiné à la production de carburant à base d'éther.

L'éthanol provient surtout de la distillation après fermentation des céréales ou d'autres produits ou sous-produits agricoles et forestiers [24].

L'utilisation d'un mélange essence-éthanol à 85% réduit jusqu'à 30 à 36% les émissions qui contribuent au réchauffement de la terre et peut de plus contribuer à réduire la consommation d'énergie à base de gaz naturel d'environ 50% (Argonne National Laboratory, 1997).

L'éthanol permet de réduire considérablement les émissions polluantes. Il diminue de 35 à 36 % les gaz à effet de serre, réduit de 25 à 30 % les émissions de monoxyde de carbone (CO), et peut abaisser les émissions nettes de dioxyde de carbone (CO₂) de 6 à 10 %, voire 100 % en cycle complet. Il contribue également à la baisse des composés organiques volatils (COV), avec une réduction allant jusqu'à 30 % dans les mélanges à forte teneur [25].

CHAPITRE 2

Partie Expérimentale

CHAPITRE 2

PARTIE EXPERIMENTALE

En Algérie, le raffinage de pétrole a débuté avec la découverte du gisement de Hassi Messaoud. Après l'indépendance, le pays a rapidement dirigé sur la valorisation de ses ressources en développant ses propres infrastructures, notamment la raffinerie d'Alger (RA1G), premier complexe pétrolier construit en Algérie par la société française Foster Wheeler France, chargé du traitement du pétrole brut pour répondre aux besoins croissants en produits raffinés. Notre stage a été effectué au sein de la raffinerie d'Alger (RA1G).

2.1 Présentation de la raffinerie d'Alger

La raffinerie d'Alger, anciennement NAFTEC, est une filiale de SONATRACH spécialisée dans le raffinage et la distribution des produits pétroliers sur le marché algérien. Elle a été mise en service en février 1964.

A l'origine, le raffinage était une activité intégrée dans SONATRACH. En 1982, le raffinage et la distribution des produits pétroliers sont séparés et érigés en entreprise nationale de raffinage et de distribution des produits pétroliers (ERDP-NAFTAL). En 1988, la raffinerie sépare les activités de distribution et de gestion au sein de la compagnie pétrolière nationale NAFTEC Algérie. En avril 1998, NAFTEC est devenue une filiale à 100 % de Refinery Holding Company et du groupe SONATRACH, avec un capital social de 12 000 000 DA, sous la dénomination NAFTEC Spa Refinery Spa. En 2009, la société a été dissoute et réintégrée au sein de la société mère sous l'appellation SONATRACH Activité Aval Division Raffinage.

Depuis le 10 Janvier 1964 jusqu'à 1971 la raffinerie était alimenté par Tankers du port pétrolier de Bejaia au port pétrolier d'Alger et puis par pipe de diamètre 26 pouces jusqu'au parc de stockage. En 1971, un piquage a été effectué au niveau de BENI-MANSOUR à partir de la pipe de 24 pouces reliant Hassi-Messaoud par un oléoduc de 16 pouces alimentant la raffinerie en pétrole brut ainsi que l'extension du parc de stockage. De ce fait, la raffinerie d'Alger a été approvisionnée en pétrole Hassi-Messaoud caractérise par une faible teneur en soufre et très riche en hydrocarbures légers.

En 2019 la raffinerie a subi des travaux de réhabilitation, après la fin des travaux et la mise en service de nouvelles installations et unités, sa production permet d'assurer environ 95% des besoins en carburant de la région centre du pays. La figure ci-dessous représente l'entrée de la raffinerie.



Figure 2.1 : Entrée principale de la raffinerie d'Alger.



Figure 2.2: Vue aérienne avec Google Earth présentant l'emplacement de la raffinerie d'Alger.

2.1.1 Capacité de production

La capacité de traitement de la raffinerie d'Alger a augmenté après réhabilitation de 2.7 à 3.5 millions tonnes par an de pétrole brut de Hassi-Messaoud, soit une allure de 10000 tonnes par jour, pour 350 jours de marche. Les capacités annuelles de production des différentes unités sont représentées dans le tableau 2.1

Tableau 2.1 : Capacité de production annuelle de la raffinerie d'Alger.

Produit	Production annuelle (tonnes)
Propane	69333
Butane	209667
Naphta	76000
Kérosène	620666
Gasoil	1261667
Fuel oil	60000
Isomérat	364333
Reformat	603333
Essence RFCC	376000
Essence sans plomb	3465000

2.1.2 Unités principales de raffinage dans la raffinerie : la raffinerie comporte les installations suivantes :

2.1.2.1 Unités de production

- Unité 100 de distillation atmosphérique « Topping »,
- Unité 300 de séparation des gaz liquéfiés « Gaz-Plant »,
- La section MS Block (Motor Sprit Block) : contient les unités suivantes :
 - Unité 500 d'hydrotraitement de naphta « NHT »,
 - Unité 510 d'isomérisation,
 - Unité 520 de reformage catalytique « CCR »,
- Unité 530 de Craquage Catalytique De Fluide Résiduel « RFCC ».

2.1.2.2 Unités d'installation générale

- Un laboratoire de contrôle de la conformité et la qualité des produits,
- Parc de stockage pour les produits finis et semi-finis (nombre de 35 bacs),
- Une centrale thermoélectrique pour les besoins énergétique,
- Un atelier de maintenance,
- Des ateliers d'entretien (mécanique, tuyauterie chaudronnerie, électricité contrôle et instrumentation),
- Salle de contrôle,
- Deux stations de traitement des eaux,
- Une Pompière d'expédition.

2.2 Procédés de production de l'essences sans plomb à la raffinerie d'Alger

La production des essences carburants commence par la séparation primaire du pétrole au niveau de l'unité de distillation atmosphérique qui permet d'obtenir plusieurs fractions pétrolières parmi lesquelles nous retrouvons la coupe naphta total et la coupe résidu atmosphérique auxquelles nous nous sommes intéressées.

2.2.1 Distillation atmosphérique ADU (U100)

Le premier traitement subi par le pétrole brut dans les unités de fabrication d'une raffinerie est un fractionnement essentiellement par distillation atmosphérique « topping » permettant d'obtenir plusieurs coupes pétrolières dont les volatils se rapprochent de celle des produits commerciaux. La distillation est un procédé physique se basant sur la différence des températures d'ébullition de chacun des produits purs obtenus dans le pétrole brut. Le tableau 2.2 représente les points de fractionnement des coupes pétrolières [26].

Tableau 2.2: Point de fractionnement des coupes pétrolières [26].

Produits	Points de fractionnement ASTM
Fraction légères (GPL)	
Naphta stabilisé	35 – 140 °C
Kérosène I	140 – 165 °C
Kérosène II	165 – 250 °C
Gasol léger	250 – 345 °C
Gasol lourd	345 – 365 °C
Résidu atmosphérique	365 et plus

➤ **Description du procédé de distillation atmosphérique (Unité 100)**

Le pétrole brut provenant des bacs de stockage est reçu à l'entrée de l'unité de distillation atmosphérique (ADU), à température et pression ambiantes (20 à 25°C). Il est ensuite envoyé par des pompes vers une batterie d'échangeurs tubulaires pour être préchauffé à environ 100 °C, puis dirigé vers un dessaleur, qui permet d'éliminer l'eau, les sels minéraux et les chlorures, afin de protéger les équipements contre l'encrassement et la corrosion. De l'eau déminéralisée est injectée en continu pour faciliter l'extraction des impuretés. L'eau chargée de sels est ensuite éliminée par décantation.

Après dessalage, le pétrole brut poursuit son préchauffage progressif grâce à une série de quatre trains de préchauffage équipés d'échangeurs de chaleur. Ce chauffage graduel permet d'atteindre la température requise sans provoquer de craquage thermique prématuré avant d'atteindre le four.

Le pétrole brut dessalé est ensuite chauffé dans un four jusqu'à des températures comprises entre 343 °C et 375 °C. Il est alors introduit dans la colonne de distillation atmosphérique, composée de 49 plateaux, où chaque plateau correspond à une fraction de distillation appelée coupe pétrolière. La colonne est parfois précédée d'une pré-vaporisation permettant de séparer le naphta instable, puis le pétrole est dirigé vers la colonne principale. Sous l'effet de la chaleur, les hydrocarbures se vaporisent progressivement et se séparent en fonction de leur point d'ébullition, chaque fraction étant condensée grâce à des condensateurs facilitant leur récupération.

Ces étapes permettent de séparer le pétrole brut en différentes fractions de distillat, qui peuvent être utilisées dans d'autres unités de traitement pour produire des produits finis de haute qualité.

Les fractions principales obtenues par distillation atmosphérique sont :

- Hydrocarbures légers (les gaz),
 - Naphta: destiné à l'unité d'hydrotraitement du naphta,
 - Kérosène et gasoil léger (destinés au stockage),
 - Gasoil lourd et résidu atmosphérique (utilisés pour alimenter le craquage catalytique des fluides résiduels).
- La figure 2.3 représente le schéma principal de fonctionnement d'une tour de distillation de pétrole brut.

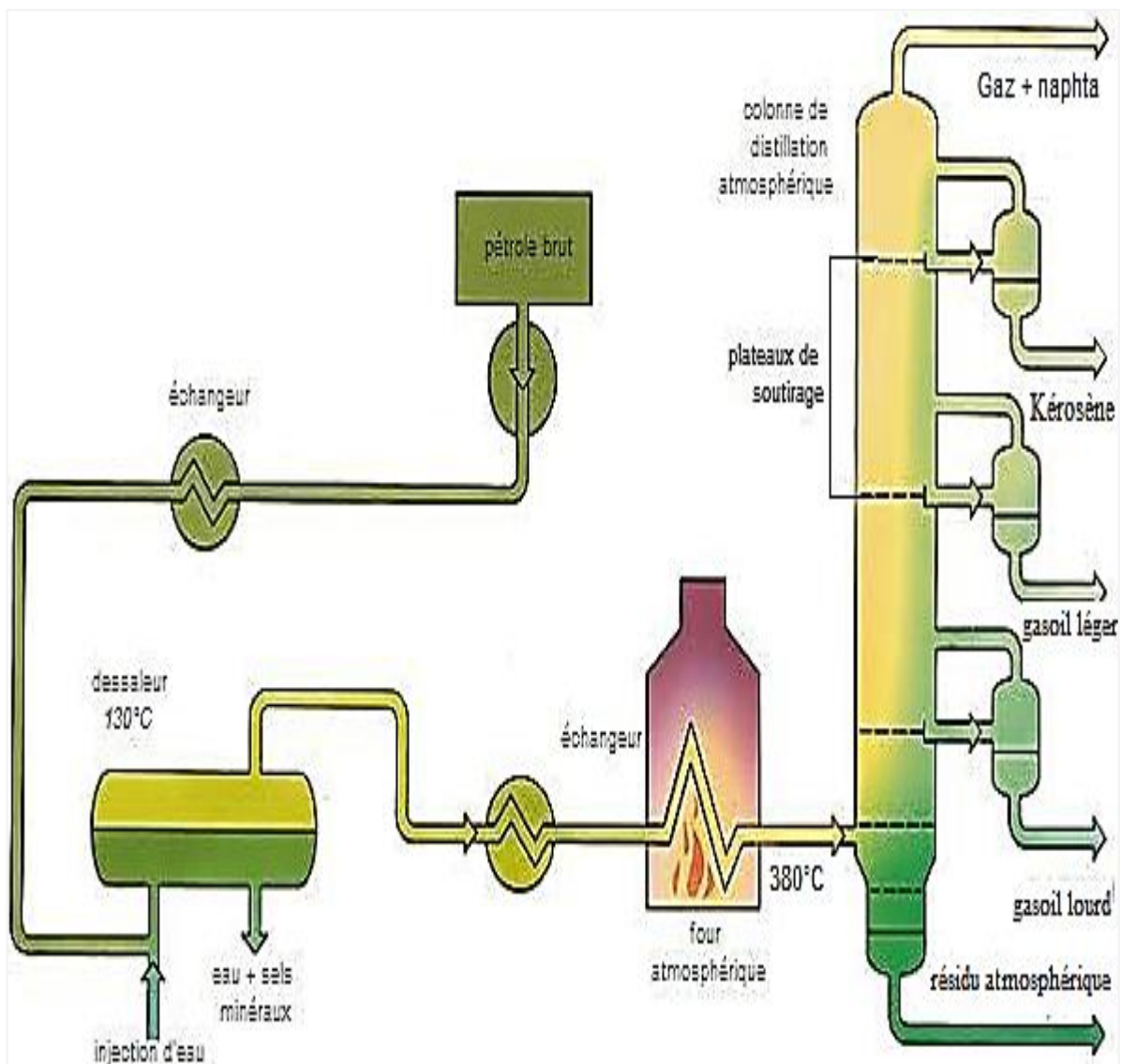


Figure 2.3: Schéma du procédé de distillation atmosphérique.

2.2.2 Section de MS block

Le naphta total produit à partir de la distillation atmosphérique est destiné à la section MS Block. Ce naphta a un indice d'octane inférieur à 60 de RON, ce qui le rend peu valorisable, afin d'optimiser sa valeur, une étape d'hydrotraitement est requise pour améliorer son indice d'octane, cette étape se déroule dans l'unité d'hydrotraitement (NHT), où le naphta est traité et séparé en deux produits distincts naphta léger et naphta lourd selon la figure 2.4 suivante :

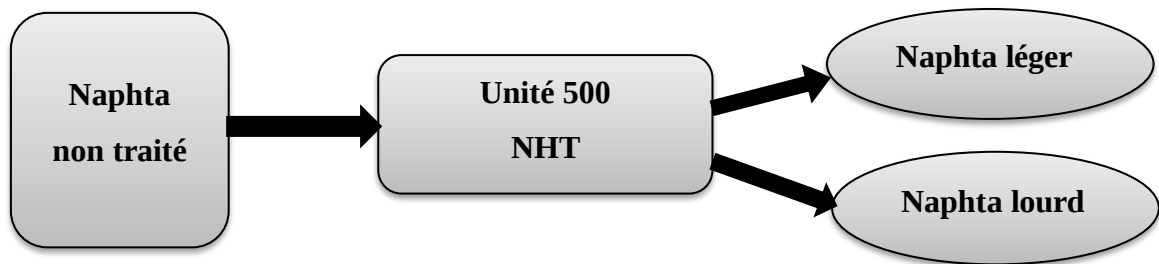


Figure 2.4: Schéma général de procédé d'Hydrotraitement du Naphta non traité.

Il y a trois unités distinctes dans la section MS Block :

2.2.2.1 Unité d'hydrotraitement du Naphtas (U500)

Cette unité permet d'effectuer l'hydrotraitement du naphta total pour éliminer les contaminants comme l'eau, le soufre, les sulfures, le mercure, et autres impuretés. Ce traitement permet d'obtenir des charges d'alimentation propres, essentielles pour préserver les catalyseurs et éviter les problèmes de pollution ou de corrosion dans les unités en aval.

Les procédés d'hydrotraitement prennent aujourd'hui une importance croissante, notamment en raison de l'abaissement des limites réglementaires sur la teneur en soufre dans les produits pétroliers [27].

Ce procédé comprend les trois opérations suivantes :

- **Section de réaction :** la charge de naphta mélangée avec de l'hydrogène, est introduite dans un réacteur sur un lit catalytique (500-R-001). La réaction se déroule à une température comprise entre 290°C et 310°C, favorisant la conversion des composés soufrés et azotés en H₂S et NH₃, respectivement.
- **Section de stabilisation (stripper) :** le naphta hydrotraité sera condensé dans un échangeur (500- EA-002) passant ensuite dans un aéroréfrigérant, puis il subit un réchauffement et sera

introduit dans une colonne appelés stripper (500-C-001), qui permet la séparation des composés hydrogénés, comme l'eau et le naphta traité (naphta stabiliser).

- **Section de séparation (splitter)** : le naphta hydrotraité est enfin dirigé vers la colonne (500-C-002), appelée splitter, qui permet la séparation du produit en deux coupes distinctes :

- Le naphta léger en tête de colonne, utilisé pour produire de l'isomérat dans l'unité d'isomérisation (U510) et une autre partie qui reste stockées pour une utilisation ultérieure,
- Le naphta lourd en pied de colonne, utilisé pour produire du reformat dans l'unité de reforming catalytique (U520) et une autre partie orientée vers le stockage après condensation et stabilisation thermique.

L'ensemble du procédé permet d'obtenir des charges parfaitement adaptées aux unités avalées, avec des teneurs en soufre inférieures à 1 ppm, garantissant ainsi le bon fonctionnement des catalyseurs très sensibles de l'isomérisation et du reforming [27]. La figure suivante résume le procédé de l'hydrotraitement.

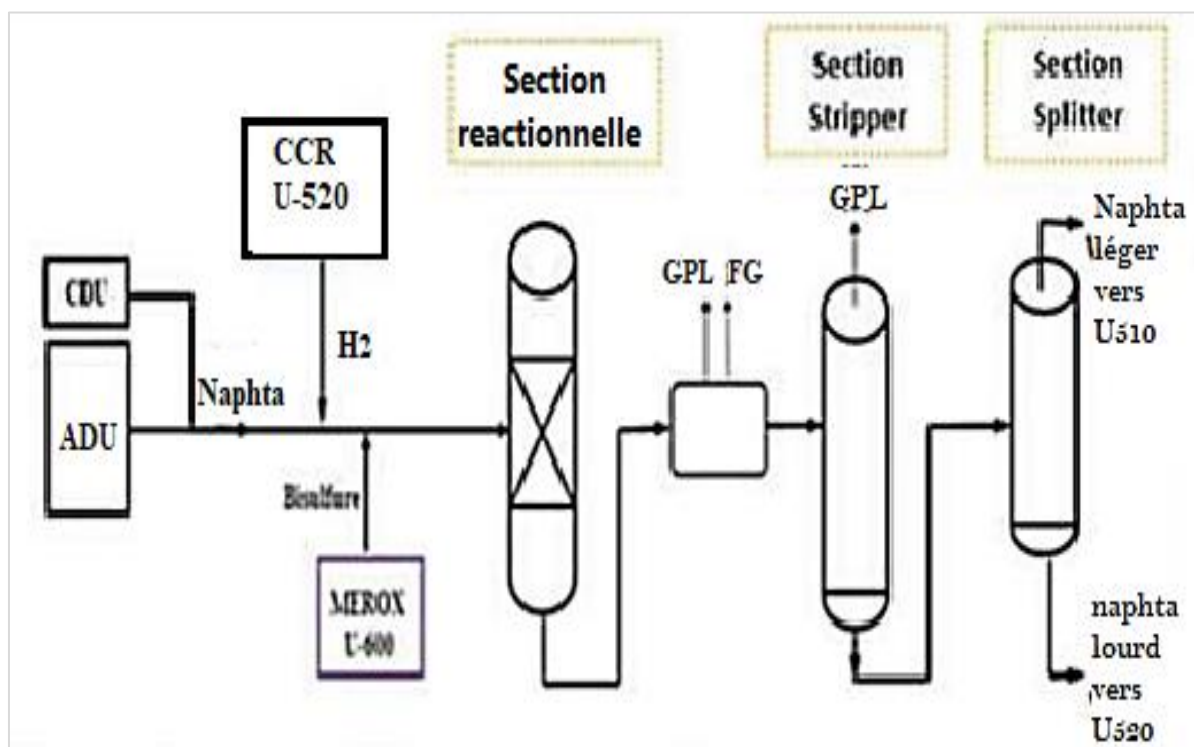


Figure 2.5: Schéma du procédé d'hydrotraitement du Naphta.

2.2.2.2 Unité d'isomérisation du naphtas (U510)

L'unité d'isomérisation transforme les hydrocarbures C5 et C6 contenus dans le naphta léger en leurs isomères ramifiés, afin d'améliorer l'indice d'octane pour l'utiliser dans la production des essences commerciales de la raffinerie. Ce procédé comprend plusieurs étapes. Trois sections sont principales :

➤ **Traitement de la charge (Section séchage)**

Cette étape cruciale vise à éliminer l'eau, soufre et les composés indésirables (CO, CO₂) présents dans la charge et le gaz d'hydrogène, afin de préserver les catalyseurs dans les réacteurs d'isomérisation pour ne pas réduire l'efficacité du procédé.

Le processus commence par la préparation de la charge, constituée d'un mélange de naphtas légers et d'un recyclat de n-hexanes et méthylpentanes, issu du déisohexaniseur 510-C-002. Avant le mélange, ce recyclat est successivement refroidi, puis introduit dans le ballon 510-D-001 pour être mélanger aux naphtas [28].

La charge ainsi obtenue est ensuite dirigée vers les sécheurs, où l'eau résiduelle est éliminée.

En parallèle, le gaz riche en hydrogène, issu soit de l'unité de reforming CCR U-520 soit d'un ballon dédié (en phase de démarrage), subit un traitement rigoureux : passe par un processus de compression, condensation, puis séchage pour éliminer l'humidité, le monoxyde de carbone (CO) et le dioxyde de carbone (CO₂).

➤ **Réaction d'isomérisation dans les réacteurs (section de réaction)**

Une fois que le naphta est prétraité, il est introduit dans les réacteurs catalytiques d'isomérisation. Ces réacteurs contiennent un catalyseur à base de platine, palladium ou nickel supporté sur de l'alumine. La réaction est déroulée à haute température et pression, avec l'aide des échangeurs 510-E-003/510-E-004 et du réchauffeur 510-E-005, permettant aux hydrocarbures C5 et C6 de se transformer en isomères ramifiés. Ce réarrangement chimique améliore l'indice d'octane en convertissant les chaînes normales, à indice d'octane bas, en chaînes ramifiées, à indice d'octane plus élevé [28]. Plusieurs réactions se produisent dans cette section, on distingue deux réactions fondamentales :

- **Hydrogénation du benzène :**

Le benzène (C_6H_6) et l'hydrogène réagissent pour former le cyclohexane selon la réaction suivante :



- **Isomérisation :** l'isomérisation est la conversion ou le réarrangement de la structure d'un composant à sa structure plus ramifiée, à indice d'octane plus élevé.

➤ **Traitement d'isomérat**

Une fois la réaction d'isomérisation terminée, l'isomérat subit plusieurs étapes de purification et de séparation pour le préparer à être utilisé dans les mélanges d'essences. Le procédé de traitement de l'isomérat comprend trois sections principales [28] :

- **Section de stabilisation :** l'effluent du réacteur 510-R-002 est dirigé vers le stabilisateur 510-C-001 pour purifier la charge en éliminant les HCl et les composés légers comme les C4. La colonne de stabilisation est équipée d'un rebouilleur pour maintenir une température constante.
- **Section de scrubbing :** les vapeurs de tête contenant du H_2 , des traces de HCl et de gaz de pétrole liquéfiés (GPL), sont purifiés dans le scrubber 510-C-003, où ils sont traités avec de la soude caustique pour éliminer l'HCl. Ensuite, un lavage à l'eau permet d'éliminer les traces de soude. Ces gaz sont ensuite envoyés vers l'unité de Reforming CCR pour la récupération des (GPL). La partie liquide (isomérat stabilisé) du ballon 510-D-006 est renvoyée comme reflux dans le stabilisateur via une pompe pour assurer un processus continu de purification de la charge [28].
- **Section de déisohexaniseur :** la colonne de déisohexaniseur permet le fractionnement de l'isomérat stabilisé en plusieurs fractions :
 - Isomérat léger : les vapeurs de tête sont condensées, et le liquide récupéré alimente la ligne d'isomérat léger,
 - Un courant intermédiaire est prélevé pour servir de reflux après réchauffage,
 - Un autre courant intermédiaire contient principalement de méthyle cyclo pentanes (MCP) à faible indice d'octane et de n- hexane est prélevé pour rejoindre le ballon de recyclage. Il est ensuite injecté à la charge de l'unité. (amélioration de l'indice d'octane d'isomérat de 86 à 88),

- L'isomérat lourd issu en pied de la colonne, riche en C6 et C7, est condensé et dirigé vers la section de mélange des produits.

Les différentes opérations de stockage qui sont associées à l'unité d'isomérisation sont les futurs bacs 309 et 310, équipés d'un système d'inertage à l'azote. Si l'isomérat obtenu ne répond pas aux critères de qualité requis, il est stocké à part [28].

Ces étapes permettent d'obtenir un naphta isomérisé de meilleure qualité et plus adapté aux exigences de l'industrie pétrolière. La figure suivante représente un Schéma de procédé d'isomérisation.

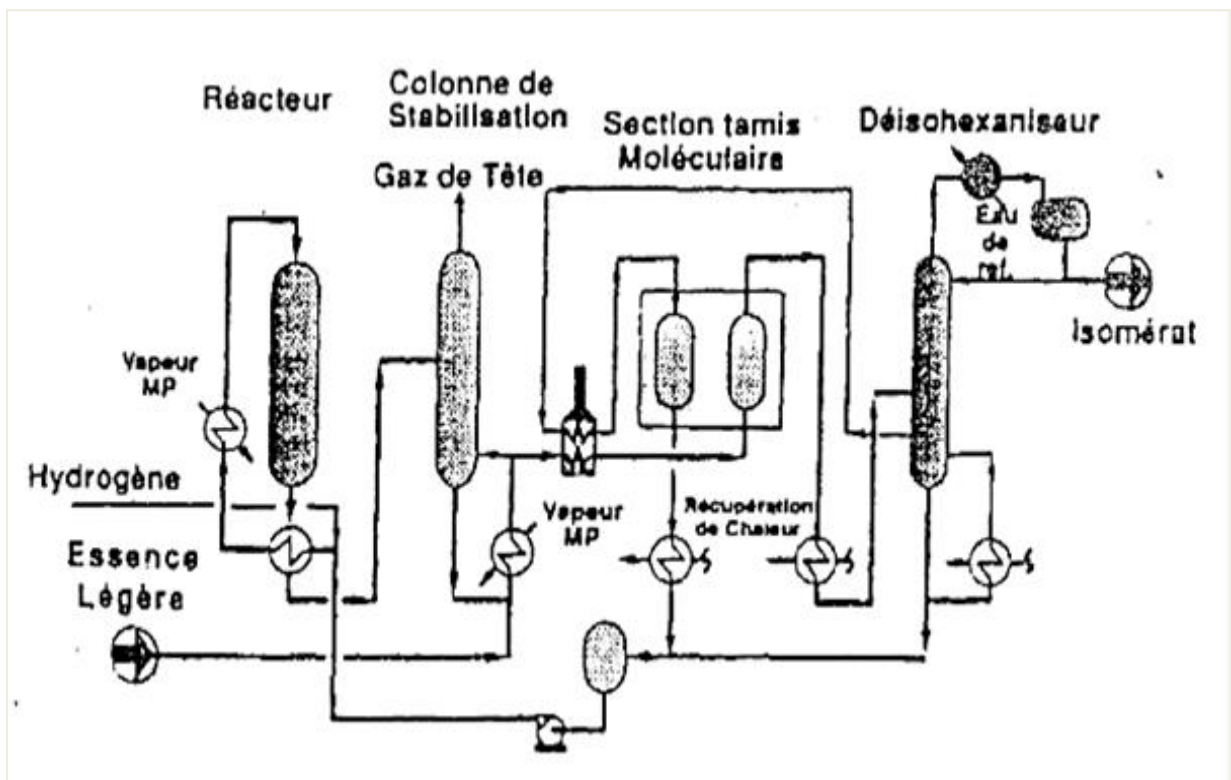


Figure 2.6: Schéma du principe de procédé d'isomeresation [29].

2.2.2.3 Unité de reforming catalytique CCR (U 520)

Cette unité (représentée par la figure 2.7) a pour but de produire un reformat à haut indice d'octane de l'ordre de 102 RON et à faible teneur en soufre afin de le mélanger et obtenir des essences commerciales.

Le reformage catalytique transforme les hydrocarbures linéaires (faible indice d'octane) en isomères ramifiés et aromatiques (haut indice d'octane) via des réactions. Ce procédé s'effectue sous des conditions opératoires de haute température et en milieu acide, afin d'assurer

le bon fonctionnement du catalyseur qui permet d'accélérer la vitesse de réaction. Les produits finaux de cette unité sont [30]:

- Les GPL envoyés vers l'unité Gaz Plant,
- Reformat stabilisé dirigé vers la section de mélange pour production d'essences et d'autre quantité sera directement stocké dans les bacs de stockage,
- Hydrogène pur distribué aux différentes unités de la raffinerie.

• Section de Préchauffage et Réaction

Ce procédé commence par le préchauffage de la charge qui sera envoyée vers la section réactionnelle qui se compose de quatre réacteurs qui fonctionne en série avec l'injection de d'eau, l'agent chlorurant tétrachloroéthylène (C_2Cl_4) et l'agent sulfurant (diméthyle disulfure DMDS), afin d'optimiser le fonctionnement du catalyseur. Le mélange obtenu (reformat + hydrogène) est ensuite préchauffé dans l'échangeur puis chauffé à la température de réaction dans le premier four. Ensuite, il est envoyé dans les quatre réacteurs de R1 jusqu'à R4 et la charge doit être chauffée par des fours F2 jusqu'à F4. Puis, le mélange est envoyé vers la colonne d'absorption.

• Section absorption

Cette section joue un rôle crucial dans la purification des produits. Elle élimine les traces de chlorure d'hydrogène (HCl) et les composés lourds présents dans le gaz d'hydrogène, en les combinant avec le reformat. Le mélange est ensuite refroidi jusqu'à une température proche de 0 °C, ce qui permet de récupérer le GPL et d'obtenir un hydrogène plus pur. L'hydrogène traité est envoyé vers le réseau gaz pour alimenter d'autres unités, tandis que le GPL condensé avec le reformat est dirigé vers la colonne de stabilisation.

• Section de stabilisation et de récupération des GPL

Cette section finalise la production des produits commerciaux tels que :

- Le mélange reformat/GPL est traité dans la colonne de stabilisation 520-C-001,
- Les GPL sont séparés en tête de colonne et condensés dans le ballon 520-D-008,
- Le reformat stabilisé est récupéré en pied de colonne qui sera ensuite refroidi et condensé avant d'être envoyé vers la section de mélange pour la production des essences sans plomb,
- Après le passage du catalyseur dans les quatre réacteurs avec une circulation effectuée de façon gravitaire. Il nécessite une régénération afin d'optimiser son efficacité [30].

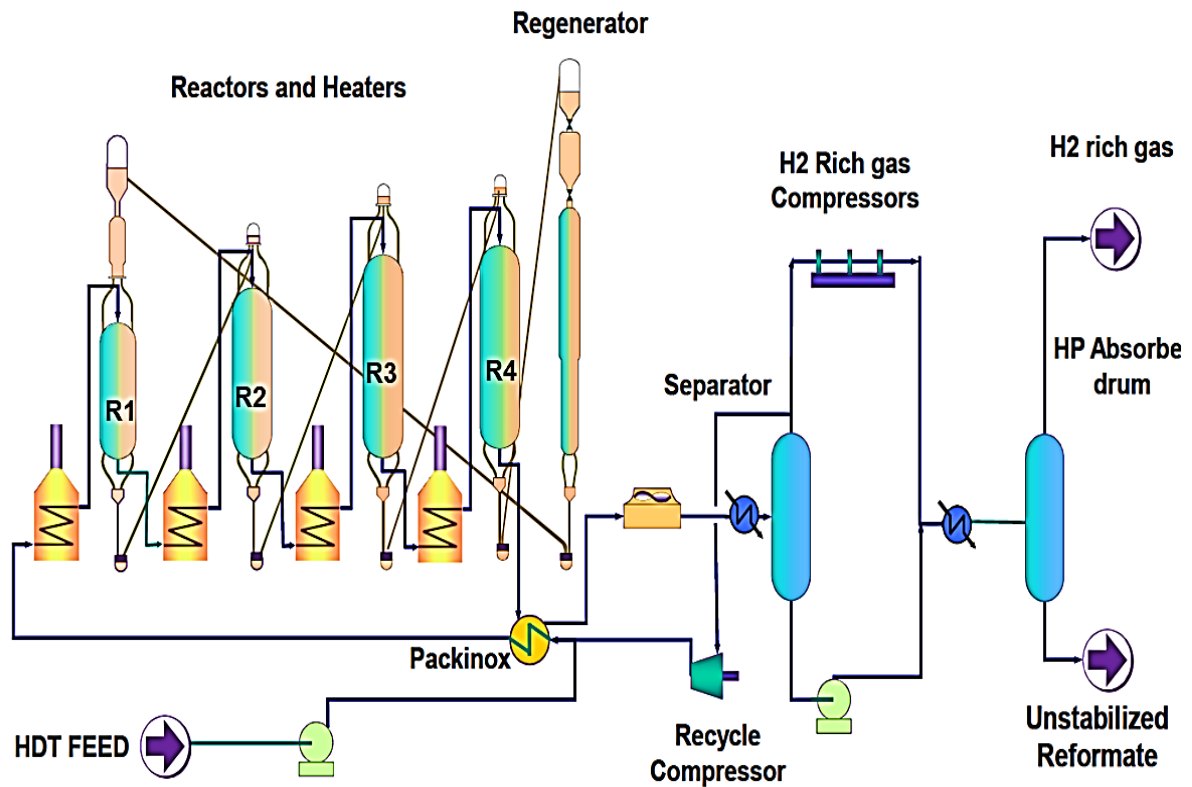


Figure 2.7: Schéma générale du procédé de reformage catalytique [8].

Les principales réactions du reforming catalytique sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 2.3: Réactions du procédé de reformage catalytique [30].

Déshydrogénation des naphènes	- transformation des naphènes en hydrocarbures aromatiques. - Réaction très endothermique et rapide. - s'effectue dans les réacteurs R1 et R2
Isomérisation	- bonne sélectivité et augmentation d'indice d'octane. - se produit dans les réacteurs : R1 et R2.
Déshydrocyclisation des paraffines et isoparaffines	Se produisent dans les réacteurs R2, R3 et R4.
Hydrocraquage des paraffines normales, isoparaffines et naphènes	Une réaction lente. se produit dans les réacteurs R2, R3 et R4

2.2.4. Unité de craquage catalytique de fluide résiduel RFCC (U530)

Cette unité conçue pour traiter 1MT par an à partir du résidu atmosphérique obtenu dans l'unité de distillation atmosphérique. Le craquage catalytique est le procédé le plus important et le plus utiliser pour convertir les fractions lourdes en produits légers et plus valorisable, à haute température et pression modérée en présence d'un catalyseur.

Ces produits légers (GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié), huile légère de craquage et huile clarifiée) seront utilisés dans la fabrication des carburant afin d'obtenir des produits finaux a haut indice d'octane [31].

Le procédé RFCC est principalement décrit en trois sections :

- **Section de réacteur-régénérateur** : la charge de fuel est préchauffée à travers plusieurs échangeurs de chaleur. Cette charge, accompagnée de vapeur, est ensuite injectée dans le riser-réacteur, où le catalyseur régénéré chauffé vaporise les hydrocarbures pour les réactions de craquage. Après quelques secondes, les réactions se terminent et le catalyseur est rapidement séparé des vapeurs pour éviter de nouvelles réactions. Les vapeurs de produits du réacteur se dirigent vers la colonne principale (Unité 530-C-021), où elles sont condensées et fractionnées en différents produits. Pendant le craquage, du coke se forme sur le catalyseur, qui est ensuite traité dans la section de stripping pour éliminer les vapeurs et brûlé dans le régénérateur, pour le but de restaurer le catalyseur usé pour une efficacité optimale lorsqu'il est réintroduit dans le riser-réacteur.
- **Section Fractionnement (séparation)** : la section de fractionnement de l'unité FCC assure la séparation des produits du réacteur en différentes fractions dans la colonne principale (C-021) :
 - En tête de colonne, on récupère les gaz et gasoline,
 - Le naphta FCC et le gazole léger sont récupérés en tant que produits de coupe latérale,
 - En fond de colonne, on récupère les produits les plus lourds (Slurry).
- **Section de Séparation des gaz** : un mélange constitué de gasoline, de GPL et de traces de LCO est récupéré d'un même plateau de la colonne principale (les vapeurs de tête), puis envoyé à la section stripper qui permet de séparer les composés gazeux (GPL) des liquides (LCO, gasoline instable). Afin de récupérer la gasoline on traite le mélange de gasoline instable dans la section splitter qui sert a séparé les liquides, le GPL dirigé vers l'unité des gaz (U300 et la gasoline obtenu sera envoyé ver la section de mélange pour la production des essences sans plomb.

• **Section de réaction** : les principales réactions dominantes dans un RFCC sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 2.4: Réactions du procédé de craquage catalytique [31].

Les Réactions Souhaitées	Réactions à limiter	Réactions Indésirables
- Réactions de craquage. - Réaction d'isomérisation.	- Transfert d'hydrogène. - Réactions de condensation	- Formation d'hydrogène. - Formation d'Hydrocarbures C1 et C2

Le schéma du procédé de craquage catalytique est représenté par la figure suivante :

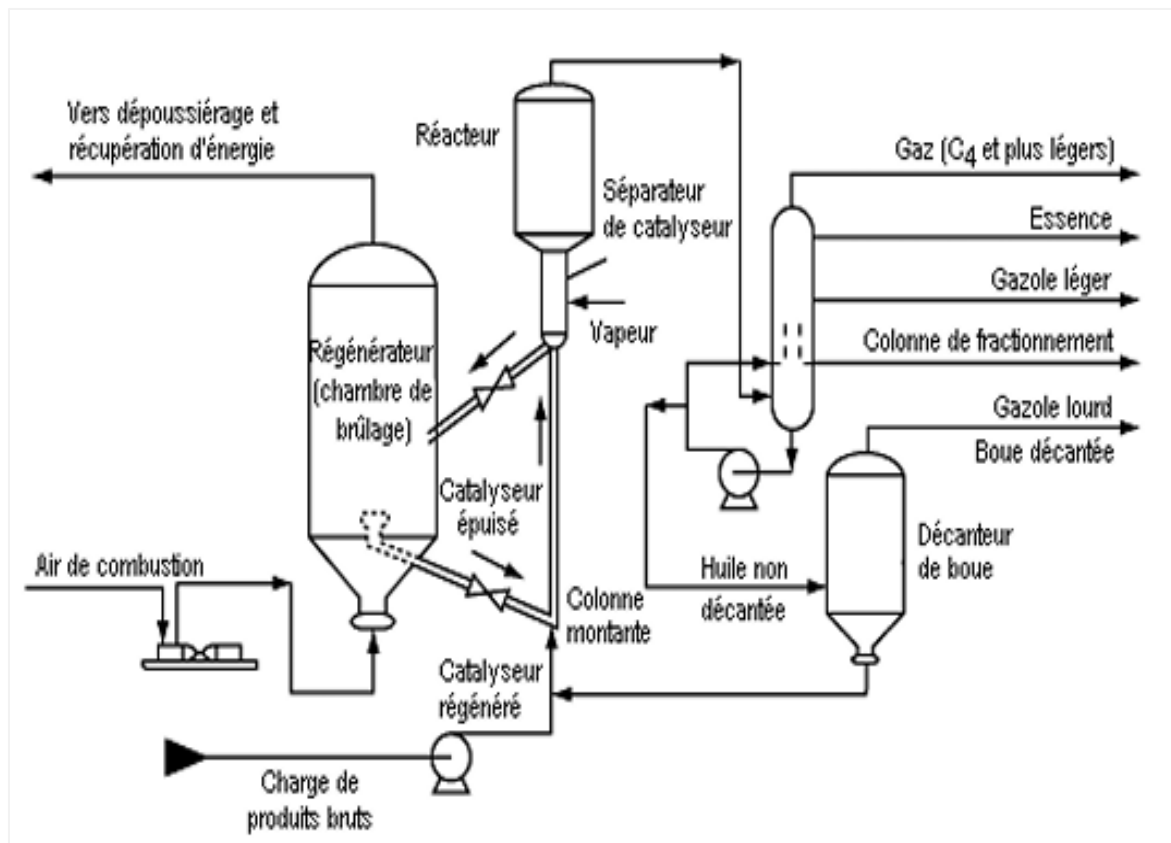


Figure 2.8 : Schéma du procédé de craquage catalytique.

2.2.5 Blending des essences

Le blender essence veut dire le mélange essence. C'est une opération qui consiste à faire un mélange homogène à partir de produits intermédiaires pour la fabrication de l'essence. Le mélange final qui est le produit commercialisé doit être conforme aux normes (densité, tension de vapeur, indice d'octane...etc.) [4].

➤ **Composition du blending de l'essence sans plomb de la raffinerie d'Alger**

La raffinerie d'Alger utilise un procédé de mélange précis pour production d'essence sans plomb conforme aux normes Algériennes.

L'essence est produite en mélangeant différents composants, chaque composant est acheminé à partir des unités de traitements vers des réservoirs dédiés, avant être pomper à un débit régulé vers un mélangeur central. Les composants sont les suivants :

- ❖ **Naphta:** mélange liquide d'hydrocarbures légers,
- ❖ **Isomérat:** produit final obtenu par le procédé d'isomérisation,
- ❖ **Reformat :** produit de reformage catalytique,
- ❖ **Gazoline:** obtenue principalement par craquage catalytique,
- ❖ **Butane:** utilisé uniquement pour répondre à des exigences spécifiques de tension de vapeur Reid (TVR) sur certains marchés,
- ❖ **MTBE:** utilisé comme additif pour la formulation des carburants ; il permet d'augmenter l'indice d'octane.

Le Blender essence sans plomb doit suivre des étapes cruciales pour son bon fonctionnement. Tout d'abord, il faut le préparer en effectuant une vérification quantitative au niveau des composants et des réservoirs de produits. Ensuite, ouvrir et/ou fermer les vannes sur la ligne selon la combinaison de mélange choisie. Et enfin, s'assurer du bon fonctionnement du système de MTBE, Pour le démarrer il faut sélectionner puis démarrer les pompes pour chaque produit, ensuite les contrôleurs doivent surveiller le débit montant au démarrage. Pour l'opération d'arrêt du blender, il est nécessaire de fermer les vannes tel que : la vanne principale à la sortie du réservoir des composants, la vanne d'aspiration et de refoulement de la pompe utilisée, les vannes d'arrêt à l'entrée des deux lignes de production pour la distribution dans les réservoirs, les vannes principales à l'entrée du réservoir de produit Moto Vanne (MOV) et la vanne côté aspiration et refoulement du système d'injection MTBE. Ensuite le mélange est stabilisé dans le réservoir pendant 12 heures.

Enfin, un échantillon est prélevé et analyser au niveau du laboratoire de la raffinerie pour s'assurer de la conformité du produit.

La figure ci-dessous représente un schéma récapitulatif du processus de production de l'essence sans plomb.

Processus de Production d'Essence Sans Plomb

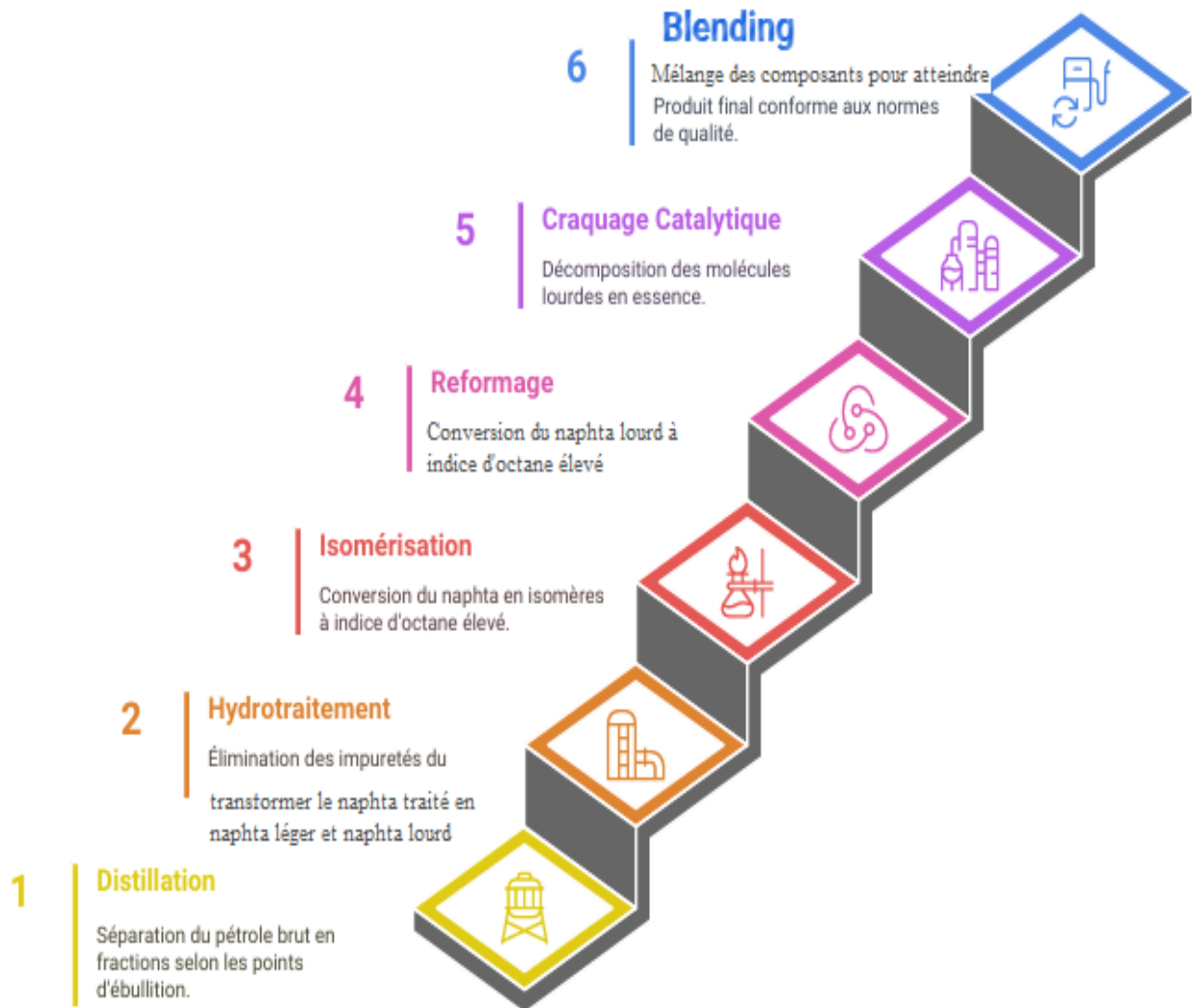


Figure 2.9 : Schéma récapitulatif du processus de production de l'essence sans plomb à la raffinerie d'Alger.

2.3 Etude de l'impact des additifs choisis sur les caractéristiques de l'essence

La production d'essence sans plomb conforme aux normes Algériennes représente un défi majeur pour l'industrie du raffinage, surtout depuis l'interdiction de l'utilisation de plomb.

La raffinerie d'Alger, utilise le MTBE comme additif oxygéné pour lutter contre cette problématique. Cependant, il est nécessaire d'évaluer l'efficacité du MTBE par rapport d'autres alternatives comme l'éthanol et le méthanol. L'optimisation des propriétés physico-chimiques du carburant, notamment l'indice d'octane, la densité et la tension de vapeur Reid (TVR), est cruciale pour garantir la conformité aux normes environnementales.

Ce travail vise à comparer l'impact de ces trois additifs sur les caractéristiques de l'essence, afin d'identifier l'option la plus efficace pour améliorer la qualité du carburant en termes d'indice d'octane tout en respectant les exigences réglementaires.

2.3.1 Composés chimique utilisés

Les composés utilisés dans cette étude sont le naphta, l'isomérat, le reformat et la gazoline. Ces substances chimiques sont des composés couramment utilisés dans l'industrie pétrolière pour la production de carburants. Le tableau ci-dessous représente les différents composés utilisés dans notre travail.

Tableau 2.5: Différents composés chimiques utilisés pour la formulation d'essence.

Désignation	Unité de production	Utilisation
Isomérat	Isomérisation (U510)	Composant principal pour la production de l'essence.
Reformat	Reformage catalytique (U520)	Composant de base pour la formulation d'essence
Gazoline	Craquage catalytique (U530)	Composant de base pour la formulation d'essence
Naphta	Distillation atmosphérique (U 100)	- Composant de base pour la formulation d'essence - Nettoyage des équipements de verrerie
MTBE	Importé	Additifs oxygénés pour améliorer la performance de l'essence
Méthanol	Importé	
Ethanol	Importé	

➤ Le choix des additifs

Dans la majorité des cas, les composés oxygénés utilisés dans l'essence automobile sont soit des alcools notamment le méthanol et l'éthanol, soit des éthers notamment du MTBE.

Ces additifs sont utilisés dans le but d'améliorer l'indice d'octane du carburant, tout en contribuant à la réduction des émissions polluantes issues de la combustion. Les principales

caractéristiques physico-chimiques de ces additifs sont présentées dans le tableau ci-dessous. (Tableau 2.2)

Tableau 2.6 : Principales caractéristiques des additifs [8].

Additifs	Densité à 15°C	TVR (bar)	RON
Méthanol	0,7959	3,3169	130
Ethanol	0,7936	1,54	125
MTBE	0,7462	0,570	115

➤ **Le choix de substances chimiques de base pour la formulation d'essences**

La production d'essence repose sur une formulation méticuleuse, où des ingrédients soigneusement sélectionnés sont combinés pour obtenir des carburants de haute qualité. Bien que des composants comme le naphta léger ou le butane puissent être ajoutés pour ajuster la TVR du carburant. Notre étude se concentre sur quatre composés principaux considérés comme essentiels dans la formulation de base : le Reformat, l'Isomérat, la Gazoline et le Naphta.

- **Reformat** : cette fraction est issue du procédé de reformage catalytique. Riche en hydrocarbures aromatiques, elle joue un rôle essentiel dans l'augmentation de l'indice d'octane du carburant,
- **Isomérat** : un composant obtenu par le procédé d'isomérisation des alcanes. L'isomérat est utilisé pour améliorer l'indice d'octane et favoriser une meilleure combustion dans les moteurs et aussi d'augmenter la TVR du carburant,
- **Gazoline** : constituant majeur de l'essence, la gazoline fournit l'essentiel de l'énergie nécessaire au fonctionnement des moteurs à combustion interne,
- **Naphta**: il est utilisé pour ajuster la volatilité globale du carburant. le naphta facilite le démarrage du moteur à basse température et améliore les performances en conditions froides.

2.3.2. Matériels utilisés

Afin de vérifier la conformité des composés utilisés (isomérat, reformat, naphta, gasoline), d'essence sans plomb et déterminer leurs caractéristiques physico-chimiques, tels que leurs indice d'octane (NO), densité, TVR. Une série d'analyses a été effectuées. Le tableau suivant récapitule les différents instruments utilisés.

Tableau 2.7 : Liste des instruments de mesure utilisés.

Désignation	Marque	Fonction
Densimètre	Anton Paar DMA4200	Mesure la densité d'essence
Analyseur de vapeur (réfractomètre à vapeur)	HVP 927 by PAC	Mesure la tension de vapeur de Reid
Moteur CFR	The Waukesha Motor	Mesure l'indice d'octane
l'analyseur de soufre et d'azote	Antek MultiTek	Mesure la teneur en soufre
Distillateur manuel	STANHOPE SETA	Distillation

2.4 Protocoles expérimentaux

2.4.1 Densité (ASTM D1298)

La densité d'une substance est le rapport de sa masse volumique à la masse volumique d'un corps de référence à une température de 15°C, En général, les corps de référence sont l'eau pour les liquides et l'air pour les gaz. Pour mesurer la densité, nous avons utilisé un densimètre automatique selon le protocole expérimental ci-dessous [32].

- Nettoyer la cellule de l'appareil en injectant à l'aide d'une seringue 10 mL de l'échantillon afin d'éliminer les impuretés résiduelles,
- Remplir à nouveau la seringue avec 10 mL d'échantillon, puis éliminer les bulles d'air éventuelles,
- Réinjecter l'échantillon dans l'appareil,
- Appuyer sur le bouton « Démarrer » pour lancer la mesure,
- L'appareil affiche automatiquement la valeur de densité ainsi que la densité à une température de 15 °C.

2.4.2 Distillation ASTM (ASTM D86)

L'analyse consiste à chauffer l'échantillon jusqu'à ébullition, à condenser les vapeurs formées, puis à relever les températures correspondant à différents volumes condensés. Cette méthode normalisée, conforme à la norme ASTM D86, s'applique à la majorité des produits pétroliers liquides, à l'exception des gaz. Elle constitue un outil essentiel pour le contrôle de qualité, la classification et l'optimisation des carburants.

Pour effectuer cette analyse, nous avons utilisé un distillateur de marque Stanhope Seta, les principales étapes sont présentées ci-dessous [32].

- Verser l'échantillon préalablement refroidi, dans une éprouvette graduée propre de 100mL.
- Dans un ballon de 125 mL, on ajout quelque grain de pierre ponce afin de régulariser l'ébullition ensuite en verse notre solution,
- On place le ballon sur la plaque chauffante en verre du dispositif.
- L'éprouvette graduée utilisé au départ est placée sans être séché à la sortie du tube de condenseur pour recueillir le distillat, positionner correctement le thermomètre branché et assurer l'alimentation du condenseur en eau froide,
- Démarrer le chauffage progressivement, puis régler la puissance de chauffage pour obtenir une vitesse de distillation constante de 3 à 5 mL/min.
- Immédiatement après avoir observé le point initial, régler le chauffage afin que le volume de condensat recueilli dans l'éprouvette augmente de façon uniforme,
- Vérifier les dernières gouttes de distillat et observer la température maximale,
- Noter le point final et arrêter le chauffage.

2.4.3 Tension de vapeur Reid (ASTM D323)

La tension de vapeur est un indicateur de la volatilité d'un carburant, mesurant la pression exercée par ses vapeurs à 37,8°C. Elle reflète la proportion de fraction légère et permet d'évaluer les pertes potentielles par évaporation lors du stockage et du transport. La TVR est exprimée en bar ou en kg/cm². Afin de mesurer la tension de vapeur, nous avons utilisé le HVP 972 by PAC en suivant le protocole expérimental suivant [32] :

- Refroidir l'échantillon pour éviter toute perte de volatilité,
- Agiter l'échantillon pour assurer l'homogénéité d'échantillon,
- Utiliser une seringue propre et sèche pour prélever un volume de 15ml d'échantillon et introduire dans le tube d'appareil. Une fois le test terminé, la valeur de TVR est affichée.

2.4.4 Indice d'octane (ASTM D2699)

L'indice d'octane d'un carburant est déterminé en comparant sa tendance à la détonation à celle de mélange de référence d'indice d'octane connus, à l'aide d'un moteur conventionnel tournant à 600 trs/mn dans des conditions de fonctionnement normalisés. Pour cela on fait varier avec la prise d'essai le taux de compression de manière à obtenir l'intensité de détonation normalisée, cette intensité de détonation est mesurée par un indicateur électronique de cliquetis [33]. Notre analyse est réalisée à l'aide d'un moteur CFR (Coopérative Fuel Research) monocylindrique à vitesse constante. Ce moteur, spécifiquement conçu pour la mesure de l'indice d'octane, permet de faire varier le taux de compression par déplacement du bloc cylindre-culasse. La détonation est détectée au moyen d'un capteur placé dans la chambre de combustion, dont le signal est amplifié puis transmis à un appareil de mesure appelé knockmeter[33].

L'essai est réalisé en suivant le protocole expérimental suivant [33] :

- Chauffer le moteur et régler la température en fonction de la pression atmosphérique,
- Ajuster la hauteur du cylindre en fonction de la pression,
- Préparer deux mélanges de référence distants de 2 points d'octane (ex. 94 et 96). en mélangeant de l'iso-octane et du n-heptane,
Par exemple pour NO = 94 : 94 % isooctane + 6 % n-heptane.
- Remplir les cuves du carburateur avec les mélanges de référence. (cuve 1 pour NO = 94, cuve 2 pour NO = 96),
- Régler les potentiomètres selon le tableau d'étalonnage,
- Ajuster les hauteurs de cuve,
- Noter la position de l'aiguille du Knockmeter pour chaque cuve. Ajuster si nécessaire l'aiguille à 50.
- Répéter les lectures jusqu'à obtenir un écart de 24 à 30 divisions entre les deux cuves.
- Une fois le Detonation Meter étalonné, passer à la cuve 4 contenant l'échantillon.
- Ajuster la richesse jusqu'au cliquetis maximal, puis régler le taux de compression pour stabiliser l'aiguille du Knockmeter à 50.
- Commencer l'analyse en notant 50 pour l'échantillon.
- Procéder aux mesures sur les mélanges de référence.
- Effectuer le calcul final de l'indice d'octane à l'aide d'une formule (voir Appendix).
- Vérifier la cohérence de la mesure (position micrométrique) : Après avoir calculé l'indice d'octane (ex.: 95,4), consulter le tableau des positions micrométriques pour retrouver la valeur correspondante, ici 0,390.

- Lire la valeur réelle sur le micromètre en marche (ex. : 0,391).
- Comparer les deux valeurs. Si l'écart est $\leq \pm 0,014$, la mesure est jugée conforme.

2.4.5 Teneur en soufre

La méthode ASTM D5453, utilisée pour déterminer la teneur en soufre dans les produits pétroliers, repose sur la combustion à haute température de l'échantillon, transformant le soufre en dioxyde de soufre (SO₂). Ce gaz est ensuite détecté par fluorescence ultraviolette (UV). L'intensité du signal émis est proportionnelle à la concentration de soufre total dans l'échantillon, ce qui permet une mesure précise et sensible [32].

Pour analyser notre échantillon, on a utilisé l'appareil Antek MultiTek, en suivant le protocole expérimental décrit ci-après [32].

- Placer un flacon contenant l'échantillon dans le plateau de l'échantillonneur automatique,
- Saisir l'identifiant de l'échantillon dans le logiciel du contrôle de l'analyseur de soufre ;
- Lancer l'analyse depuis l'interface logicielle,
- Les valeurs de la teneur en soufre seront affichées en ppm.

2.5 Effet des additifs oxygénés

Afin d'étudier l'effet de certains additifs oxygénés sur les propriétés de l'essence sans plomb, un protocole expérimental a été suivi en passant par :

- ✓ **Caractérisation des produits de base :** nous avons effectué des analyses au niveau du laboratoire de la raffinerie afin de caractériser les produits semi-finis utilisés pour préparer le mélange de l'essence sans plomb. Cette caractérisation vise à vérifier leur conformité aux spécifications Algériennes et à garantir la qualité des bases utilisées pour le mélange.
- ✓ **Formulation et amélioration du mélange:** sur la base des résultats trouvés, nous avons préparé un mélange d'essence sans plomb initialement non conforme. Ce mélange de base nous a permis d'évaluer l'efficacité et l'impact de l'ajout progressif des additifs oxygénés (méthanol, éthanol et MTBE) afin d'améliorer les caractéristiques du mélange, notamment l'indice d'octane, la densité et la tension de vapeur Reid (TVR), jusqu'à atteindre la conformité aux normes Algériennes.

2.5.1 Modèle mathématique.

Pour préparer le mélange d'essence sans plomb non conforme, un modèle d'équations a été élaboré afin d'établir les relations entre trois paramètres clés : l'indice d'octane (NO), la densité et la tension de vapeur Reid (TVR). Ce modèle repose sur la méthode de substitution, une approche algébrique permettant de résoudre systématiquement un système d'équations linéaires.

Les proportions volumiques des divers composants de base des essences sont déterminées en résolvant un système d'équations lié à l'indice d'octane (NO), à la densité et à la TVR. Cette résolution est effectuée grâce à une méthode de substitution mise en place sur Excel.

• **La formule de NO :**

$$NO = \sum_{i=0}^n NO \cdot Xi \quad (2.2)$$

$$NO_{\text{mélange}} = NO_{\text{isomerat}} \cdot X_{\text{isomerat}} + NO_{\text{reformat}} \cdot X_{\text{reformat}} + NO_{\text{naphta}} \cdot X_{\text{naphta}} + NO_{\text{gasoline}} \cdot X_{\text{gasoline}}$$

• **La formule de la densité :**

$$d = \sum_{i=0}^n di \cdot Xi \quad (2.3)$$

$$d_{\text{mélange}} = d_{\text{isomerat}} \cdot X_{\text{isomerat}} + d_{\text{reformat}} \cdot X_{\text{reformat}} + d_{\text{naphta}} \cdot X_{\text{naphta}} + d_{\text{gasoline}} \cdot X_{\text{gasoline}}$$

• **La formule de TVR :**

$$\sum_{i=0}^n TVR_i \cdot Xi \quad (2.4)$$

$$TVR_{\text{mélange}} = TVR_{\text{isomerat}} \cdot X_{\text{isomerat}} + TVR_{\text{reformat}} \cdot X_{\text{reformat}} + TVR_{\text{naphta}} \cdot X_{\text{naphta}} + TVR_{\text{gasoline}} \cdot X_{\text{gasoline}}$$

Avec:

Xi : fraction volumique.

2.5.2 Résolution de system mathématiques

Les résultats du calcul de formulation de l'essence sans plomb ont été obtenus à l'aide d'un tableau Excel représenté sur figure 2.10. Les proportions des différents composants ont été déterminées en fonction des quantités disponibles dans le stockage et du volume total à préparer.

	A	B	C	D	E
1		DENSITE	TVR	NO	Pourcentage %
2	Isomerat	0,6554	1,095	86	27
3	Reformat	0,8204	0,205	99	22
4	Gasoline	0,7302	0,563	90	40,6
5	Naphta total	0,711	0,556	54	10,4
6	MTBE	0	0	0	0
7	Methanol	0	0	0	0
8	ethanol	0	0	0	0
9	totale	0,7278512	0,627152	87,156	100
10					
11					

Figure 2.10 : Résolution du système mathématique.

Le tableau 2.8 représente le pourcentage des bases pour notre mélange.

Tableau 2.8 : Pourcentages volumiques des constituants de l'essence sans plomb.

Constituant de base	Pourcentage volumique %
Reformat	22
Isomérat	27
Gasoline	40,6
Naphta totale	10,4

2.5.3 Protocol de manipulation pour le mélange d'essence non conforme

Pour préparer un mélange de 15 litres d'essence sans plomb non conforme, nous avons utilisé quatre composants de base : gasoline, reformat, naphta et isomérat. Afin de minimiser les pertes par évaporation lors de la manipulation, chaque composant a été préalablement refroidi.

Nous avons ensuite mesuré les quantités nécessaires à l'aide d'un flacon gradué, en nous basant sur les proportions calculées sous Excel. Pour obtenir un mélange de 15 litres, les quantités de chaque composant ont été ajustées en conséquence afin d'obtenir le mélange désiré.

La préparation a été effectuée en versant successivement commençant par le reformat, suivi de la gasoline, du naphta, puis de l'isomérat. Puis les verser dans une bouteille fermée en agitant pour assurer une bonne homogénéisation. Ensuite étiqueté chaque contenant en précisant les composants utilisés et la date de préparation.

Enfin, nous avons stocké les mélanges dans un endroit approprié, conformément aux règles de sécurité. Le mélange final a été caractérisé en laboratoire, en vue d'évaluer ses principales propriétés physico-chimiques avant l'ajout des additifs oxygénés.

2.5.4 L'effet de l'ajout des additifs oxygénés

Afin d'étudier l'effet de l'ajout des additifs choisis (Méthanol, Ethanol et MTBE), une série de mélanges d'essence a été préparé avec différents pourcentages de ces additifs. L'ajout de chaque additif a été effectué de manière progressive, dans le but d'obtenir une essence conforme aux normes Algériennes et de déterminer la valeur optimale de chaque additif permettant d'atteindre cet objectif.

Le tableau suivant présente les spécifications réglementaires de l'essence sans plomb commercialisée en Algérie.

Tableau 2.9 : Spécifications des essences sans plomb.

Caractéristique		Limites	Méthodes d'essai	Norme algériennes
Densité à 15°C		0,720-0,775	ASTM D 1298	NA 417
Tension de vapeur (bar)	1/11 au 31/03	0,800 max	ASTM D323	NA 422
	1/04 au 31/10	0,650 max		
Nombre d'octane		91 MIN	ASTM D2699	NA 2653
Teneur en soufre (ppm)		0,1 max	ASTM D5453	NA 11046
Teneur en plomb (g/l)		0,020 max	NF M047-043	NA 2803
Distillation (°C)	10%	70 max	ASTM D86	NA 1445
	50%	140 max		
	95%	195 max		
	PF	210 max		
Corrosion lame de cuivre 1H à 37,8°C		1 MAX	ASTM D130	NA 566

Chapitre 3

Résultats et Discussions

CHAPITRE 3

RESULTATS ET DISCUSSIONS

La production d'essence sans plomb de qualité, conforme aux normes Algériennes, constitue un défi majeur pour l'industrie du raffinage, en réponse à la réglementation mondiale imposant l'élimination de l'essence contenant du plomb. Il est donc essentiel d'améliorer les propriétés physico-chimiques de l'essence sans plomb. Parmi les paramètres clés garantissant cette conformité figurent l'indice d'octane, la densité, la tension de vapeur Reid, la distillation ASTM et la teneur en soufre.

Après l'élimination du plomb, l'utilisation d'additifs oxygénés pour la formulation d'essence est devenue essentielle pour assurer à la fois l'optimisation de l'indice d'octane et la conformité aux normes de qualité et la performance des essences sans plomb.

Dans ce cadre, notre étude vise à évaluer l'efficacité et l'impact des additifs oxygénés, notamment le MTBE, l'éthanol et le méthanol, sur les caractéristiques de l'essence sans plomb, afin d'améliorer la qualité du carburant tout en respectant les exigences réglementaires et d'obtenir un carburant conforme aux normes Algériennes.

3.1 Résultats d'analyses physico-chimiques des différentes bases utilisées pour le mélange d'essence sans plomb.

3.1.1 Analyses du naphta total de la distillation atmosphérique (U100)

Le tableau 3.1 englobe les résultats du naphta total.

Tableau 3.1: Résultats d'analyse du naphta total.

Caractéristique		Unité	résultats	Normes	Méthodes d'essai
Densité à 15°C			0,711	0,690 – 0, 740	ASTM D 1298
Tension de vapeur		bar	0,556	0,750 max	ASTM D323
Nombre d'octane			54	70 max	ASTM D2699
Distillation	PI	°C	30	35 min	ASTM D86
	PF		169	175 max	
Teneur en soufre		ppm	10,5	50 max	ASTM D5453

A la lumière des résultats données par le tableau 3.1 du naphta total, il a été montré que la densité à 15 °C est conforme aux normes (0,711). La tension de vapeur est inférieure à la limite

maximale (0,556 bar), tout comme les températures de distillation, avec un point initial de 30 °C et un point final de 169 °C. Ces résultats indiquent que les deux paramètres sont conformes. La teneur en soufre est faible (10,5 ppm) respecte largement les exigences réglementaires. Le nombre d'octane est de 54, ce qui reste dans les limites imposées. L'ensemble des paramètres analysés indique que le produit est conforme aux normes.

3.1.2 Analyse d'isomérat de l'unité d'isomérisation (U510)

Les résultats de l'analyse d'isomérat sont représentés dans le tableau 3.2 suivants :

Tableau 3.2: Résultats d'analyse isomérat .

Caractéristique		Unité	résultats	Normes	Méthodes d'essai
Densité à 15°C			0,6554	0,643 – 0,656	ASTM D 1298
Tension de vapeur		bar	1,095		ASTM D323
Nombre d'octane			86	86 - 89	ASTM D2699
Distillation	PI	°C	24		ASTM D86
	PF		82		
Teneur en soufre		ppm	0,1	0,5 max	ASTM D5453

Nous remarquons à partir du tableau 3.2 que les valeurs de la densité (0,655) et la teneur en soufre (0,1 ppm) n'excèdent pas les limites maximales imposées. Le nombre d'octane atteint la valeur minimale exigée et les températures de distillation ASTM répondent aux normes.

3.1.3 Analyse de reformat du reformage catalytique (U 520)

Les résultats de l'analyse des isomères sont représentés dans le tableau 3.3 suivant :

Tableau 3.3: Résultats d'analyse du reformat.

Caractéristique		Unité	résultats	Normes	Méthodes d'essai
Densité à 15°C			0,8204	0,818- 0,828	ASTM D 1298
Tension de vapeur		bar	0,205		ASTM D323
Nombre d'octane			99	101 min	ASTM D2699
Distillation	PI	°C	50		ASTM D86
	PF		208		
Teneur en soufre		ppm	0,12	1 max	ASTM D5453

À partir du tableau 3.3, nous constatons que le reformat présente de bonnes valeurs en termes de densité, distillation et de teneur en soufre. Cependant, le nombre d'octane obtenu (99) est inférieur à la valeur minimale exigée (101), ce qui pourrait avoir un impact sur les performances du produit et de l'essence.

3.1.4 Analyses du Gasoline

Les résultats de l'analyse de l'échantillon de gasoline sont présentés dans le tableau 3.4 ci-dessous.

Tableau 3.4: Résultats d'analyse du Gasoline.

Caractéristique		Unité	résultats	Normes	Méthodes d'essai
Densité à 15°C			0,7302	0,729 à 0,734	ASTM D 1298
Tension de vapeur		bar	0,563		ASTM D323
Nombre d'octane			90	89 min	ASTM D2699
Distillation	PI	°C	34		ASTM D86
	PF		185		
Teneur en soufre		ppm	67	100 max	ASTM D5453

D'après les résultats montrés sur le tableau 3.4, il a été remarqué que les valeurs de la densité, distillation, teneur en soufre et d'indice d'octane dépendent aux normes exigées.

3.1.5 Analyse comparative des caractéristiques analytiques des composants de formulation de l'essence sans plomb.

Les figures ci-dessous représentent les résultats des caractéristiques analytiques des composants utilisés dans la formulation de l'essence sans plomb : la densité (figure 3.1), le nombre d'octane (figure 3.2), la TVR (figure 3.3), les températures de distillation, incluant le point initial et le point final (figure 3.4), ainsi que la teneur en soufre (figure 3.5).

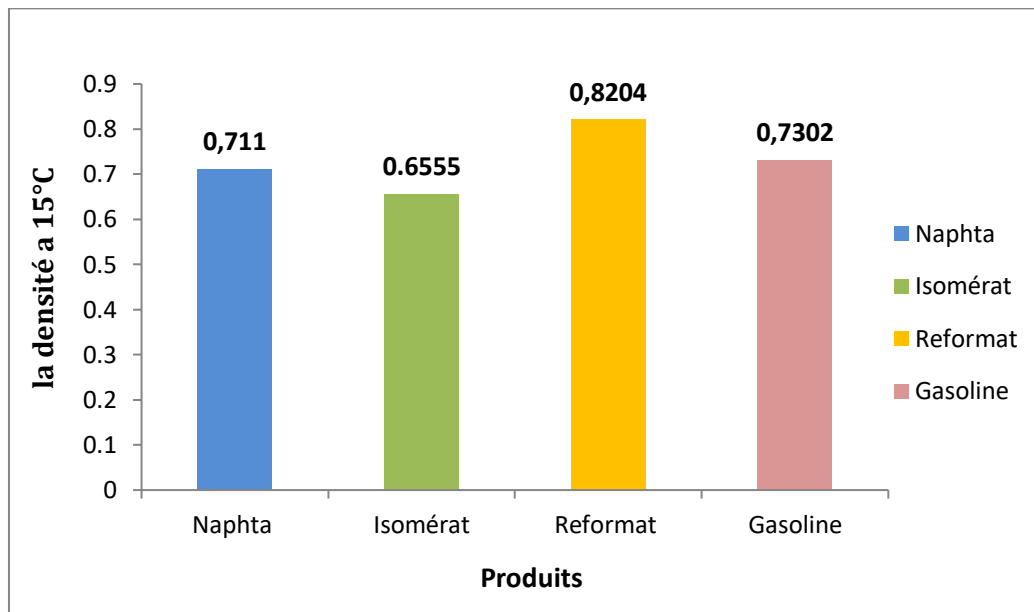


Figure 3.1 : Densité de différentes bases de production d'essence sans plomb.

D'après la figure 3.1, nous avons constaté que le reformat est la base la plus dense (0,821), suivi par la gasoline, puis le naphta, tandis que l'isomérat est le plus léger. Cette variation permet d'ajuster la densité globale du mélange pour obtenir une essence équilibrée, à bonne combustion et conforme aux spécifications. Le reformat apporte plus d'énergie volumique, tandis que l'isomérat permet d'alléger le mélange.

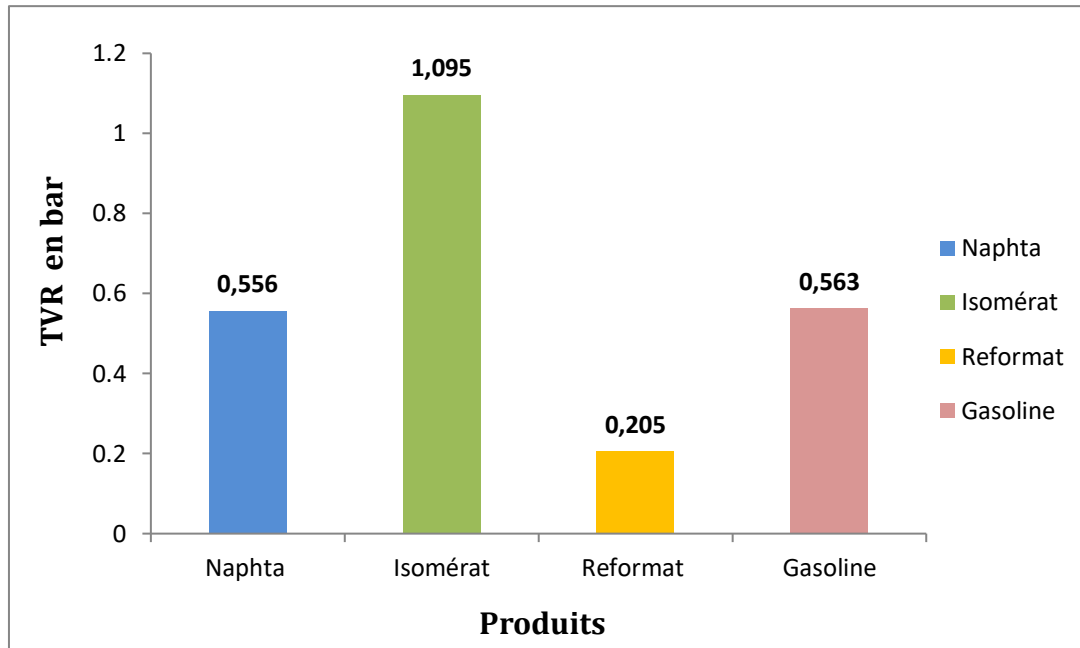


Figure 3.2 : TVR de différentes bases de formulation d'essence sans plomb.

Il a été remarqué à partir de la figure ci-dessus, que l'isomérat possède la valeur du TVR la plus élevée (1.095 bar), favorable à la volatilité du mélange. Cependant, le reformat à une valeur de TVR très faible. Le naphta et la gasoline, avec des valeurs intermédiaires, permettent d'équilibrer la volatilité du mélange final. Cette combinaison assure une essence équilibrée et conforme aux exigences de volatilité.

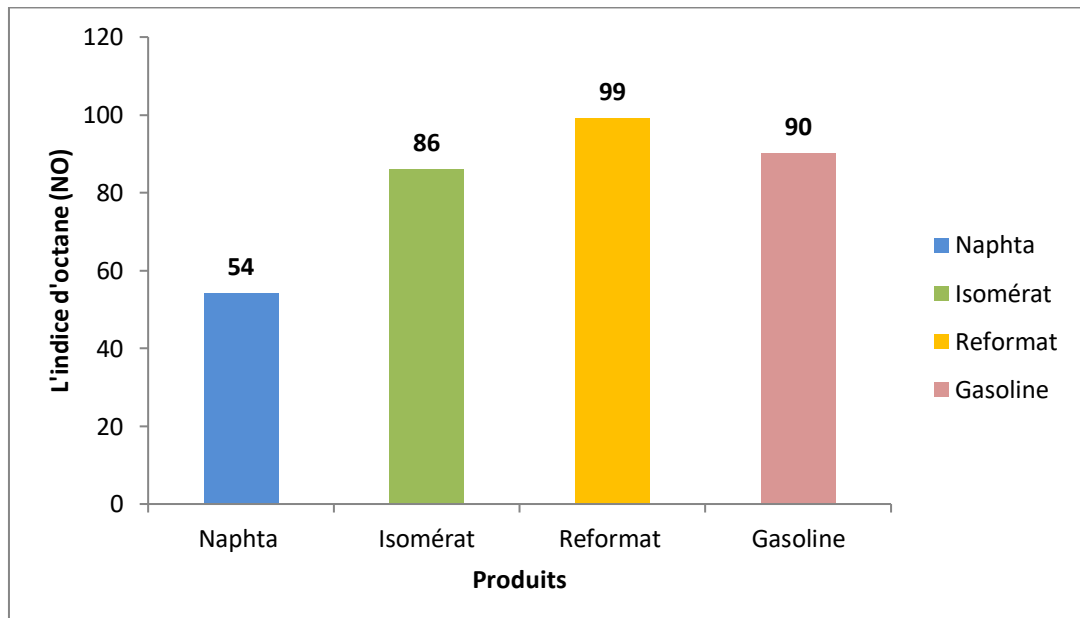


Figure 3.3 : Indice d'octane (NO) de différentes bases d'essence sans plomb.

Nous avons remarqué à partir de la figure ci-dessus que le reformat présente le meilleur indice d'octane parmi toutes les bases, avec une valeur de 99. Cette observation montre que le reformat

joue un rôle essentiel dans l'amélioration de l'indice d'octane du mélange final, en assurant une meilleure résistance au cliquetis et une combustion plus performante. La gasoline et l'isomérat contribuent également à cette amélioration, tandis que le naphta, à indice faible, est limité à une faible proportion pour préserver la qualité globale de l'essence.

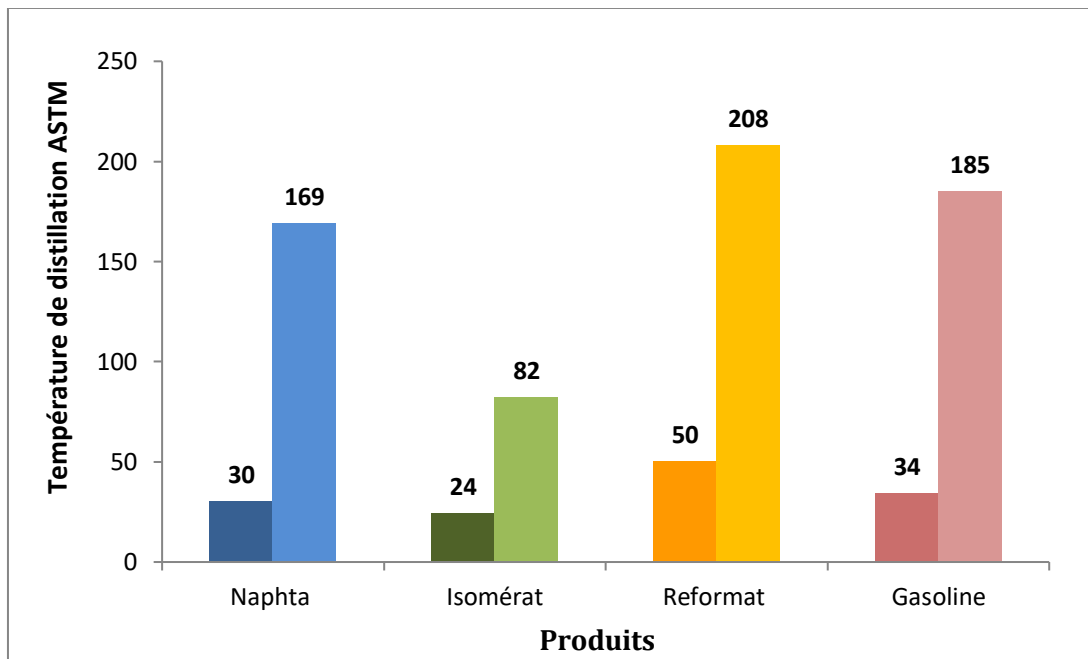


Figure 3.4: Températures de distillation de différente base d'essence sans plomb.

Il a été observé que la figure 3.4 montre que l'isomérat se caractérise par un intervalle de température d'ébullition (distillation) étroit de l'ordre de (24–82°C), ce qui favorise une évaporation rapide et une bonne inflammabilité dès le démarrage. Le naphta et la gasoline, avec des intervalles intermédiaires, assurent une transition progressive entre les différentes fractions. Le reformat, avec une température finale élevée de l'ordre de 208°C, présente l'avantage de composés lourds, qui peut prolonger la combustion. Un bon équilibre entre ces profils thermiques est indispensable pour assurer une combustion complète et propre.

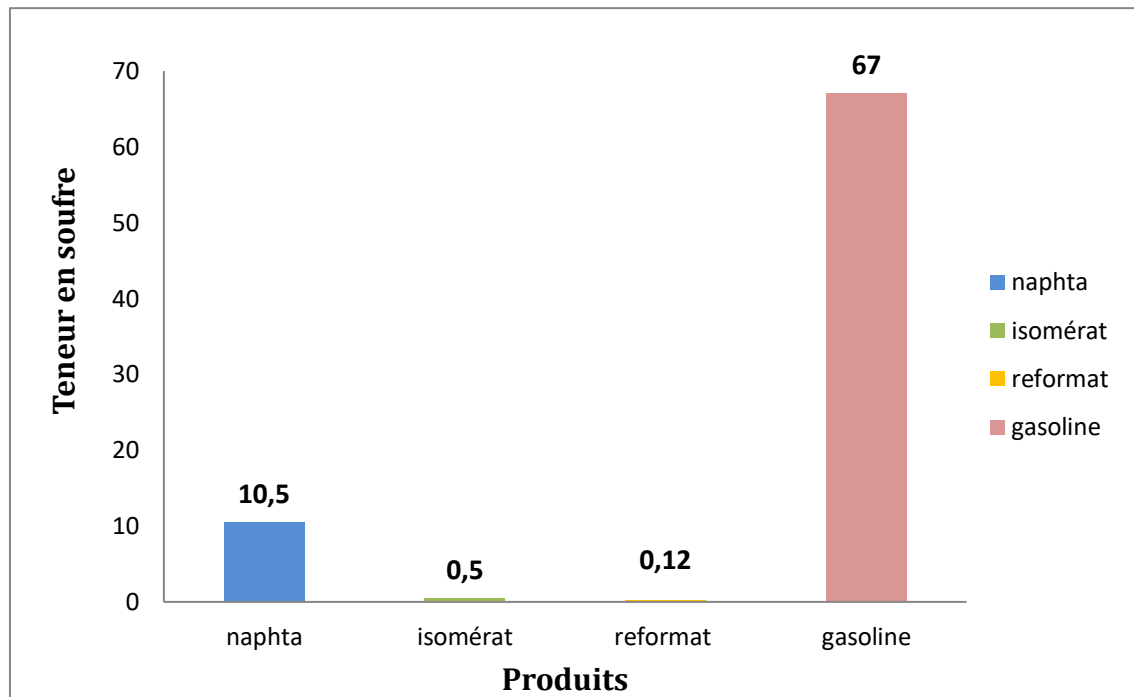


Figure 3.5: Teneur en soufre de différentes bases de production d'essence sans plomb.

Nous avons constaté d'après la figure 3.5 que la gasoline présente une teneur en soufre élevée (67 ppm) car elle résulte du craquage catalytique de résidus lourds (fioul : résidu de la distillation atmosphérique de pétrole brut), qui conservent une forte teneur en soufre. De même, le naphta total affiche un taux élevé, ce qui s'explique par son origine : il est obtenu par distillation atmosphérique du pétrole brut, sans étape de traitement.

Tandis que, le reformat et l'isomérat se distinguent par des niveaux très faibles en soufre. Ils sont produits à partir de l'hydrotraitement de naphthas, ce qui est essentiel pour protéger les catalyseurs utilisés dans les unités de reformage catalytique et d'isomérisation. Cette purification en amont permet de formuler des essences conformes aux spécifications environnementales strictes.

La comparaison entre les différents résultats d'analyses des produits issus, nous amène à déduire ce que suit :

- Le bon fonctionnement du procédé d'isomérisation et reformage catalytique a permis d'augmenter l'indice d'octane RON de la charge jusqu'à 86 ce qui correspond à l'objectif attendu pour l'isomérisation, mais il augmente beaucoup plus dans l'unité de reformage catalytique. Cependant cette augmentation (99) reste insuffisante et inférieure à l'objectif de procédé,
- L'excellent rendement du procédé de craquage catalytique, ayant fortement augmenté l'indice d'octane de la charge à 90 en réalisant pleinement l'objectif du procédé,

- Les fractions légères sont élevées au cours de l'isomérisation,
- La fraction lourde augmente au cours de reformage catalytique.

3.2 Caractérisation du mélange d'essence non conforme préparé

À partir du modèle mathématique utilisé dans notre étude, nous avons obtenu les résultats théoriques du mélange d'essence non conforme préparé, que nous avons ensuite comparés aux résultats expérimentaux. L'ensemble des résultats est présenté sur le tableau 3.5.

Tableau 3.5 : Résultats expérimentaux pour l'essence préparée.

Caractéristique	Unité	Résultats théoriques	Résultats expérimentaux
Densité à 15°C	/	0,7279	0,7307
Tension de vapeur	bar	0,627	0,618
Nombre d'octane	/	87,15	87,12

D'après les résultats du tableau ci-dessus, les valeurs de la densité, de tension de vapeur et d'indice d'octane calculés sont très proches de celles obtenues expérimentalement, notre formulation est donc similaire à celle déduite par les calculs.

3.3 Ajout du méthanol et son effet sur les paramètres physico-chimiques d'essence sans plomb.

Les compositions chimiques des préparations d'essence en utilisant le méthanol sont regroupées dans le tableau 3.6.

Tableau 3.6 : Composition chimiques des préparations d'essence.

Constituants	Essence 0	Essence 1	Essence 5	Essence 6	Essence 7	Essence 8
Naphta (mL)	104	104	104	104	104	104
Isomérat (mL)	270	270	270	270	270	270
Reformat (mL)	220	220	220	220	220	220
Gasoline (mL)	406	406	406	406	406	406
Méthanol (mL)	0	10	50	60	70	80

Le tableau 3.7 englobe les résultats d'analyses des mélanges d'essence préparés avec l'ajout du méthanol.

Tableau 3.7: Résultats des analyses après l'ajout de Méthanol.

Essence	Volume méthanol (%)	Densité a 15°C	TVR	NO	Conformité		
Essence 0 (sans additif)	0	0,7307	0,618	87,12	Densité	C	NC
					TVR	C	
					NO	NC	
Essence 1	1	0,7312	0,757	87,64	Densité	C	NC
					TVR	C	
					NO	NC	
Essence 5	5	0,7315	0,862	88,92	Densité	C	NC
					TVR	NC	
					NO	NC	
Essence 6	6	0,7318	0,870	89,76	Densité	C	NC
					TVR	NC	
					NO	NC	
Essence 7	7	0,7322	0,878	90,12	Densité	C	NC
					TVR	NC	
					NO	NC	
Essence 8	8	0,7325	0,886	91,05	Densité	C	NC
					TVR	NC	
					NO	C	

C : Conforme

NC : Non conforme

Discussions des résultats

L'indice d'octane (NO) : le mélange initial d'essence sans plomb présente un indice d'octane de 87,12. Nous avons constaté que l'ajout progressif du méthanol entraîne une augmentation significative de ce paramètre : l'indice passe à 87,64 après l'ajout de 1 % de méthanol, puis atteint 91,05 à 8 %, valeur qui correspond au seuil minimal requis par les normes (NO = 91 min).

Les mélanges « Essence 5 », « Essence 6 » et « Essence 7 » restent non conformes à ce critère, tandis que le mélange « Essence 8 » devient conforme. Ce dernier contient 80 mL du méthanol, qui représente donc le volume optimum pour rendre le mélange initial préparé conforme à l'indice d'octane. Ces résultats indiquent que l'ajout du méthanol a un effet significatif sur l'amélioration de l'indice d'octane, ce qui contribue à répondre aux normes de qualité de l'essence sans plomb en augmentant la résistance au cliquetis et en assurant de bonnes performances du moteur des véhicules.

La densité : la densité des cinq mélanges d'essence augmente légèrement de 0,7307 à 0,7325 pour un taux de 8 % en méthanol. Cette augmentation est logique car le méthanol a une densité légèrement plus élevée que celle de l'essence. Les variations de la densité sont relativement faibles et restent dans l'intervalle des limites imposées (**0,720 à 0,775**) avec l'ajout du méthanol, ce qui signifie que tous les mélanges sont conformes aux normes Algériennes.

Cela indique que le méthanol n'a pas d'impact significatif sur la densité d'essence sans plomb et son ajout reste conforme aux exigences des normes algériennes.

Tension de vapeur Reid (TVR) : la TVR augmente progressivement avec l'ajout du méthanol, passant de 0,618 à 0,886 bar pour un taux d'incorporation de 8 %. Cette élévation est significative, elle dépasse la valeur limite (0,800 bar), établie par les normes de qualité des carburants. (**TVR = 0,800 max**)

Une TVR élevée affecte la qualité de l'essence et peut entraîner plusieurs effets indésirables, notamment une évaporation excessive du carburant, des pertes par volatilisation, une altération de la sécurité de stockage, ainsi que des risques de formation de bouchons de vapeur dans le circuit de carburant. Cela réduit la performance du moteur [34,35]. Par conséquent, la TVR constitue le paramètre limitant l'incorporation du méthanol, malgré son effet positif sur l'augmentation d'indice d'octane du carburant.

L'ajout du méthanol dans la composition de l'essence améliore efficacement l'indice d'octane, ce qui permet d'obtenir un carburant de bonne qualité, plus résistant au cliquetis, en

garantissant de bonnes performances du moteur. La densité augmente légèrement tout en restant conforme aux normes. Cependant, la TVR dépasse rapidement les limites, ce qui rend le mélange « Essence 8 » non conforme malgré la conformité des autres paramètres.

Le méthanol est un additif efficace pour l'amélioration de l'indice d'octane, son impact négatif sur la volatilité du carburant doit être pris en compte pour garantir la conformité globale aux normes de qualité [36,37].

3.4 Ajout du l'Ethanol et son impact sur le blending de l'essence sans plomb.

Le tableau 3.8 représente les résultats d'analyses des mélanges d'essence préparés avec l'ajout d'éthanol.

Tableau 3.8: Résultats des analyses après l'ajout du Ethanol.

Essence	Volume Ethanol (%)	Densité a 15°C	TVR	NO	Conformité		
Essence 0 (sans additif)	0	0,7307	0,618	87,12	Densité	C	NC
					TVR	C	
					NO	NC	
Essence 1	1	0,7310	0,652	87,40	Densité	C	NC
					TVR	C	
					NO	NC	
Essence 5	5	0,7317	0,703	89,67	Densité	C	NC
					TVR	C	
					NO	NC	
Essence 10	10	0,7325	0,741	91,37	Densité	C	C
					TVR	C	
					NO	C	

Discussions des résultats

L'indice d'octane : il a été observé que l'ajout progressif d'éthanol entraîne une augmentation notable de l'indice d'octane. L'ajout du 1 % d'éthanol augmente la valeur jusqu'à 87,40, puis atteint 89,67 avec 5 %, ces valeurs sont insuffisantes selon les normes. Après on obtient 91,37 avec 10 %, seuil à partir duquel le mélange devient conforme.

Le mélange « Essence 10 », contenant 10 % d'éthanol, est un mélange satisfaisant aux exigences des normes en termes d'indice d'octane.

Ces résultats confirment l'efficacité de l'éthanol pour augmenter l'indice d'octane, en favorisant une combustion plus régulière et une meilleure résistance au cliquetis. Ce qui contribue à la performance du moteur [38].

Densité à 15 °C : la densité des mélanges d'essence augmente légèrement, passant de 0,7307 pour l'essence sans additif à 0,7325 à 10 % d'éthanol. Cependant, cette variation reste faible et tous les mélanges testés respectent les exigences des normes Algériennes.

Ces résultats confirment que l'ajout d'éthanol n'a pas un effet significatif sur la densité de l'essence.

Tension de vapeur Reid (TVR) : la TVR augmente progressivement avec l'addition d'éthanol, passant de 0,652 bar avec 1 %, à 0,741 bar avec 10 %. Malgré cette augmentation, les valeurs mesurées pour les trois mélanges testés restent inférieures à la limite maximale autorisée par les normes, ce qui signifie que tous les mélanges sont conformes à la TVR. Le mélange contenant 10 % d'éthanol constitue le seuil à partir duquel le mélange initial non conforme devient conforme à l'indice d'octane. Ce taux d'incorporation est donc identifié comme optimum, car il permet d'obtenir une essence conforme aux normes. Il convient toutefois de souligner qu'une TVR des taux plus élevés peut conduire à une évaporation plus rapide de l'essence.

A la lumière des résultats ci-dessus, on peut dire que l'éthanol est un additif efficace qui permet d'améliorer l'indice d'octane sans compromettre la densité ni la TVR, celles-ci restant conformes aux exigences réglementaires, ce qui garantit la qualité de l'essence.

3.5 Ajout du MTBE et son impact sur les caractéristiques d'essence sans plomb.

Les résultats d'analyses des mélanges d'essence préparés avec l'ajout du MTBE sont présentés dans le tableau ci-dessous:

Tableau 3.9: Résultats des analyses après l'ajout de MTBE .

Essence	Volume MTBE (%)	Densité	TVR	NO	Conformité		
Essence 0 (sans additif)	0	0,7307	0,618	87,12	Densité	C	NC
					TVR	C	
					NO	NC	
Essence 1	1	0,7311	0,612	87,57	Densité	C	NC
					TVR	C	
					NO	NC	
Essence 5	5	0,7313	0,633	89	Densité	C	NC
					TVR	C	
					NO	NC	
Essence 10	10	0,7319	0,637	90,12	Densité	C	NC
					TVR	C	
					NO	NC	
Essence 15	15	0,7325	0,645	91,08	Densité	C	C
					TVR	C	
					NO	C	

Discussions des résultats

D'après les résultats du tableau ci-dessus, il a été observé :

L'indice d'octane : le mélange initial sans additif à un indice d'octane de 87,12. Avec l'ajout progressif du MTBE, l'indice d'octane augmente de manière significative de 87,57 pour le mélange avec 10 mL de MTBE, jusqu'à 91,08 pour le mélange avec 150 mL.

Notre mélange initialement préparé (initial non conforme) devient conforme à partir de 15% du MTBE, ce qui représente le taux d'incorporation optimum du MTBE pour obtenir une essence respectant les exigences en matière d'indice d'octane. Ce résultat indique que l'addition du MTBE améliore la qualité de l'essence sans plomb en termes de ce paramètre.

La densité : la densité est presque stable pour les différents pourcentages, avec une légère augmentation de 0,0014.

Toutes les valeurs de densité obtenue de différents mélanges d'essence sont conformes. Cette faible variation signifie que le MTBE n'influe pas significativement sur densité de l'essence.

La tension de vapeur : la TVR augmente progressivement avec l'ajout du MTBE, passant de 0.612 pour le mélange initial à 0,645 pour le mélange avec 150 mL du MTBE. Cette variation reste faible pour les différents pourcentages, ce qui signifie que le MTBE n'influe pas sur ce paramètre.

Analysant ces résultats, il a été constaté que le MTBE est un bon additif pour l'amélioration d'indice d'octane, sans affecter d'autres paramètres.

3.6 Comparaison entre les trois additifs étudiés

Les additifs oxygénés jouent un rôle important dans l'amélioration de la qualité de l'essence, notamment en augmentant l'indice d'octane [8]. Chaque additif a des effets variés, certains étant plus significatifs que d'autres en fonction de leur concentration et de leurs caractéristiques. Le tableau suivant englobe les valeurs optimales de chaque additif pour notre mélange d'essence préparé initialement afin d'obtenir une formulation conforme aux normes.

Le tableau 3.10 illustre les valeurs optimales de chaque additif, permettant de comparer leur efficacité.

Tableau 3.10 : Valeurs optimales de chaque additif.

Additif	Volume d'ajout nécessaire (%)	NO	TVR	Densité	Conformité
Sans additif		87,12	0,618	0,7307	
Méthanol	8	91,05	0,889	0,7325	NC
Ethanol	10	91,37	0,741	0,7325	C
MTBE	15	91,08	0,645	0,7325	C

A travers ces résultats obtenus à partir du tableau 3.10, il a été remarqué :

- Le méthanol montre un rendement élevé en indice d'octane dès 8 %, mais il provoque une augmentation excessive de la TVR, non conforme, entraînant une évaporation plus rapide de l'essence et des émissions accrues. Cela fait un mauvais choix malgré son bon rendement.
- L'éthanol est un additif efficace, nécessitant un taux de 10 % pour obtenir un indice d'octane conforme. C'est un additif qui améliore l'indice d'octane, ce qui permet de répondre aux normes de qualité exigées, mais il augmente aussi la TVR qui doit être contrôlée.

Il est à signaler que notre étude est basée sur les normes d'hiver (En comparant la valeur obtenue (0,741 bar) avec la norme de TVR en été (TVR = 0,650 max), on constate la non-conformité). Pour cela la TVR est un facteur important à prendre en compte en fonction des conditions d'utilisation prévues dans toutes les saisons d'année.

- Le MTBE est l'additif qui demande le taux le plus élevé (15 %) par rapport le méthanol et l'éthanol pour rendre notre mélange initial conforme, son avantage que son effet sur la densité et la TVR de mélange est très faible.

Cependant, bien que l'éthanol et le MTBE présentent des avantages qui permet d'améliorer l'indice d'octane, chaque additif à ses propres caractéristiques, avec des avantages et des inconvénients spécifiques. Il est essentiel de comprendre ces effets pour choisir l'additif le plus adapté à chaque besoin.

Le tableau suivant englobe les avantages et les inconvénients de ces deux additifs, en tenant compte de leurs impacts sur la qualité de l'essence.

Tableau 3.11 : Avantages et inconvénients d'éthanol et MTBE .

Additifs	Avantages	Inconvénients
MTBE	- Améliore l'indice d'octane - Moins sensible à l'humidité	- Toxique - Contaminant des eaux souterraines. - fabrication à partir de produits pétroliers (Energie fossile)
Ethanol	- Améliore l'indice d'octane - Moins toxique - Fabrication par matière biodégradable (maïs, canne à sucre, dattes)	- Hygroscopique (absorbe l'humidité) - Volatil - Corrosif

Malgré que l'éthanol offre plusieurs avantages, comme l'amélioration d'indice d'octane qui permet une meilleure résistance à l'auto-allumage et une combustion plus propre et des avantages environnementaux grâce à sa faible toxicité, ses caractéristiques hygroscopiques posent des problèmes majeurs en pratique.

- L'éthanol absorbe l'humidité ambiante, ce qui provoque une séparation de phase dans le carburant (instabilité du mélange) qui peut affecter la qualité du carburant et la performance du moteur à long terme,
- Son pouvoir corrosif sur les joints et les composants métalliques (réservoir) réduit significativement la durée de vie des moteurs,
- De plus le problème de TVR élevé qui présente des risques pour le stockage et le transport du carburant, l'éthanol présente un risque de corrosion même pour le stockage.

L'intégration d'éthanol dans l'essence nécessite de réaliser quelques modifications et d'adaptations techniques pour assurer la compatibilité et la sécurité de stockage et de transport.

Pour le MTBE, même s'il nécessite un dosage légèrement plus élevé et présente des risques de contamination de l'eau souterraines, il offre des bonnes caractéristiques telles que :

- Stabilité chimique élevée qui élimine tout risque de séparation de phase, garantissant ainsi une stabilité à long terme et une qualité constante du carburant [39],
- Produit non corrosif, ce qui préserve l'intégrité des composants du moteur et facilite son stockage,
- Valeur du TVR maîtrisée, ce qui garantit une meilleure sécurité de stockage,
- Compatible avec les matériaux des moteurs, ce qui facilite le fonctionnement du moteur et garantit la longévité du moteur.

A travers ces résultats, il a été constaté que le choix du bon additif ne repose pas uniquement sur le rendement de l'indice d'octane, mais sur une évaluation globale, intégrant d'autres paramètres comme la TVR, la sécurité, la stabilité, le stockage et la conformité aux normes. Le MTBE se distingue comme un additif optimum, stable et fiable, ce qui constitue un véritable avantage en matière de qualité et durabilité du carburant et du bon fonctionnement du moteur, particulièrement dans les conditions industrielles réelles. Le MTBE semble être le composant le plus adapté parmi ceux testés pour produire un mélange d'essence conforme aux normes Algérienne.

3.7 Préparation d'une essence à base du MTBE conforme aux normes Algériennes

A la raffinerie d'Alger, le pourcentage du MTBE est limité à 5% pour cela on doit optimiser et minimiser le pourcentage du MTBE tout en garantissant la conformité d'essence aux normes. Le mélange préparé contient : 20% isomerat, 40% gasoline, 30% reformat, 7% naphta et 3% MTBE. Les résultats du mélange sont englobés dans le tableau suivant :

Tableau 3.12 : Caractéristiques d'un mélange d'essence préparée à base de MTBE

Caractéristiques	Résultats	Norme
Densité	0,7562	0,720-0,775
Indice d'octane	91,25	91 min
Tension de vapeur	0,587 bar	0,800 max
Distillation	PI= 29 °C	
	P 10% = 52 °C	P 10% = 70 max
	P 50% = 101 °C	P 50% = 140 max
	P 95% = 178 °C	P 95% = 195 max
	Pf = 198 °C	Pf = 210

D'après les résultats trouvés selon le tableau ci-dessus, il a été remarqué que les valeurs de la densité, distillation, tension de vapeur et d'indice d'octane d'essence rependent aux normes Algérienne et respectent les normes exigées de l'utilisation de MTBE.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Les procédés de la production de l'essence sans plomb reposent sur cinq procédés : la distillation atmosphérique, l'hydrotraitement du naphta, l'isomérisation, le reformage et le craquage catalytique. Chaque étape, joue un rôle clé dans la composition et la qualité d'essence produite.

L'utilisation d'essence sans plomb en ajoutant des additifs oxygénés présente plusieurs avantages, en particulier l'amélioration d'indice d'octane. Le choix du bon additif ne repose pas uniquement sur le rendement de ce dernier, mais sur une évaluation globale, intégrant d'autre paramètre comme la TVR, la sécurité, la stabilité, la compatibilité avec le moteur et la conformité aux normes.

Ce travail consiste à une contribution à l'étude de la production d'essence sans plomb répondant aux normes nationales et respectant les normes environnementales, ainsi à évaluer l'efficacité et l'impact des additifs oxygénés, notamment le méthanol, l'éthanol et MTBE sur les caractéristiques de l'essence sans plomb.

Notre étude effectuée sur l'ajout des additifs ci-dessus, nous a permis de relever les points suivants :

- ✓ L'ajout du méthanol à un effet significatif sur la TVR, ce qui peut rendre l'essence non conforme aux normes exigées et diminuer sa qualité malgré son efficacité sur l'augmentation d'indice d'octane,
- ✓ L'éthanol est un additif efficace pour l'amélioration de l'indice d'octane, mais il augmente également la TVR et peut provoquer une séparation des phases. Son intégration nécessite de réaliser quelques modifications plus d'un suivi strict afin d'assurer la conformité du produit final,
- ✓ Le MTBE est l'additif le plus stable, il permet d'améliorer l'indice d'octane tout en gardant une densité et une TVR dans les limites acceptables,
- ✓ Certains additifs donnent de bons résultats et des avantages à court terme soient souvent clairs, mais leurs impacts à long terme ne sont pas toujours connus. Il est donc important de bien choisir l'additif, de l'utiliser correctement, de tenir compte de son coût et aussi de son développement durable. Un bon choix peut offrir une amélioration notable de la performance et la protection du moteur.

A travers ces résultats, le MTBE semble être le choix optimum parmi ceux testés pour produire un mélange d'essence conforme et garantit la qualité et durabilité du carburant et le bon fonctionnement du moteur. Pour cela, l'Algérie a lancé un projet de réalisation d'une unité de production de MTBE, reconnaissant son rôle stratégique dans l'amélioration de la qualité de l'essence.

Cette étude montre que l'ajout d'additifs, en particulier le MTBE, est une solution efficace pour relever le défi de la production d'essence sans plomb conforme, tout en répondant aux exigences croissantes du marché et en valorisant les ressources pétrolières nationales.

En perspectives, ce travail aurait pu être enrichi par une modélisation de la stabilité des mélanges d'essence (avec MTBE et Ethanol) en fonction du temps. Cela permettrait de prévoir comment les additifs se dégradent pendant le stockage (oxydation, séparation de phases, évaporation) et d'améliorer la durée de conservation du carburant. Par ailleurs, il serait intéressant de recommander l'utilisation d'additifs alternatifs comme l'éthyl tert-butyl éther (ETBE). Ce dernier (issu de l'éthanol), l'ETBE améliore l'indice d'octane, offre une bonne stabilité et de bonnes performances, avec un impact environnemental meilleur que le MTBE. Il est d'ailleurs utilisé en remplacement du MTBE dans certains pays européens. Cela permettrait de développer des carburants plus propres et plus efficaces, adaptés aux normes environnementales et aux exigences techniques.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Rabchi K., Rezigat T., « Etude et suivi par caractérisations de la production du l'essence sans plomb », mémoire de fin d'étude, université Mohamed Boudiaf M'sila, 2020.
- [2] P. Wauquier, « Le Raffinage du pétrole brut », Tome 1, Technip, France, 1994.
- [3] IPIECA, Association internationale de l'industrie pétrolière pour la sauvegarde de l'environnement. Rapport technique, "Élimination du plomb, Stratégies et ressources aval en matière d'élimination progressive de l'essence plombée", 2003. Disponible sur : <https://www.ipieca.org/resources/limination-du-plomb-stratgies-et-ressources-aval-en-matire-d-elimination-progressive-de-l-essence-plombe>
- [4] Nouh L., Bebboukha M., «Optimisation de la TVR de l'Essence par l'Etude des Paramètres de March du Débutaniseur et la Vérification du Rebouilleur», mémoire de fin d'étude, Université Hamma Lakhdar Eloued, 2015.
- [5] Chevalier J., « Les énergies fossiles : enjeux économiques et limites écologiques », Technip, France, 2017.
- [6] Norman, J. Hyne (2001). Guide non technique de la géologie pétrolière, de l'exploration, du forage et de la production (2e éd.). Tulsa, Oklahoma : Penn Well Corp. ISBN 978-0-87814-8233
- [7] Gharbi C., Maouche B., « La production de l'essence sans plomb conforme aux normes algériennes et l'influence du MTBE sur le blending », mémoire de master, Université des sciences et de la technologie Houari Boumedien, 2024.
- [8] Saouti R., Berregui B., « Etude d'augmentation de la production d'Essence Sans Plomb au niveau de la Raffinerie de Hassi Massoud », mémoire de fin d'étude, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2024
- [9] Dr. Hadjarab, Cours de 4ème année ingénieur - Raffinage 1-, Institut National des Hydrocarbures (INH) Boumerdes 2011-2012. Disponible sur : <https://fr.scribd.com/document/792871737/Conformite-Des-Produits-Petroliers-en-Se-Basant>
- [10] Benhamza H., « Étude des hydrocarbures dans l'environnement : classification et impacts », Mémoire de Master, Université 8 Mai 1945 Guelma, 2019.
- [11] Connaissance des Énergies. Fiche pédagogique : Le raffinage pétrolier : principe, fonctionnement, acteurs et raffinerie. Disponible sur : <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/raffinage-petrolier>
- [12] Lockart F.J., Sanjay Kumar., Chapter 3 « Separation of oil and gas, developments in Petroleum », Science volume 19, part A, 1987, pages 59-108.

- [13] Nathalie M., « Le raffinage du pétrole en 3 grandes étapes », Futura Science, 2015, disponible sur : <https://www.futura-sciences.com/sciences/questions-reponses/energie-raffinage-petrole-3-grandes-etapes-6212/>
- [14] Lebloub R., « Conformité d'un mélange final résultant de l'utilisation d'un nouveau Blender essence à la Raffinerie de Skikda », mémoire de master, université Guelma, 2020.
- [15] Belhadri F., « Étude de la production de l'essence sans plomb », Mémoire de Master, Université de mohamed boudiaf Oran, 2014.
- [16] Pilorget C., « Éléments techniques sur l'exposition professionnelle aux carburants et solvants pétroliers », rapport technique, Institut de veille sanitaire , France, 2007.
- [17] Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), 2021. Le monde en a fini avec l'essence au plomb. [en ligne]. : <https://www.unep.org/fr/news-et-recits/communiqu-de-presse/le-monde-en-fini-avec-lessence-au-plomb>
- [18] Wuithier P, « le pétrole, raffinage et génie chimique » ed Technip 1972.
- [19] J. P. Favennec, « Le raffinage du pétrole – Procédés et produits », Éditions Technip, 2011.
- [20] Chauvel J., «Utilisation de Produits Organiques oxygénés comme Carburants et Combustibles dans les moteurs », Revue de l'institut Français du Pétrole, Vol. 36, Ed., Technip, Paris, 1991.
- [21] Société Chimique de France (SCF) « Méthyl t-butyl éther ». Disponible sur : <https://new.societechimiquedefrance.fr/produits/methyl-t-butyl-ether/>
- [22] DEXTER MILLER K., DEWITT, Company Inc Houston, « MTBE faces an uncertain future. », Oil & Gas Journal, 2000.
- [23] Données encyclopédiques, copyright © 2001 Hachette Multimédia / Hachette Livre.
- [24] Association Canadienne Des Carburants Renouvelables <http://www.greenfuels.org> , 2010.
- [25] Renewable Fuels Association. (2023). Ethanol Facts: Environment. : <https://ethanolrfa.org>
- [26] Kord C., « modelisation et optimisation des produits de fabrication des essences sans plomb » Mémoire de Master, Université Blida 1, 2023.
- [27] Sonatrach. Descriptif du procédé d'hydrotraitement (Document technique interne). Raffinerie d'Alger.
- [28] Sonatrach, MS Block – Description de procédé, document interne, Raffinerie d'Alger.
- [29] Paul P., Barrachin T., Zekiri B.. Operation manual, Light naphtha isomerization Isom (U510), Technip, France, 2015.
- [30] Manuel d'exploitation U520 - Unité Reformage Cata De Sonatrach
- [31] Descriptif du procédé, de l'unité de craquage catalytique (U530), document interne, raffinerie d'Alger.

- [32] Manuel opératoire de laboratoire de la raffinerie.
- [33] Mode opératoire du moteur CFR. Document interne, raffinerie d'Alger .
- [34] Gsassi O., Zouad H., Mehria C., « Amélioration de la qualité de l'essence (nombre d'octane) A la Raffinerie d'adrar ADRAR RA1D », Université Echahid Hamma Lakhdar. EL Oued.2023
- [35] Kirouane S., Karatta I., « Vérification des paramètres physique et chimique des essences au niveau de la Raffinerie d'Adrar », Université Kasdi Merbah Ouargla, 2024.
- [36] International Council on Clean Transportation (ICCT), compatibility of methanol fuel blends with gasoline vehicles and engines in Indonesia, page 06, (décembre, 2021). Disponible sur: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/Methanol-Indonesia-ENG-dec21.pdf>
- [37] Methanol Institute, « Methanol Gasoline Blends: Alternative Fuel For Today's Automobiles and Cleaner Burning Octane For Today's Oil Refinery ». Disponible sur: <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2016/06/Blenders-Product-Bulletin-Final.pdf>.
- [38] SAFA A., BAKIR A., « Formulation de carburants Algériens SP95-E10 », mémoire de master, Ecole Nationale Polytechnique, 2013
- [39] Trabelsi A., Benramdane I., « Etude et Calcul d'une installation de production du MTBE », Université M'hamed Bougara Boumerdès, 2023.

APPENDIX

APPENDIX A

LISTE DES SYMBOLES

ADU : Unité de Distillation Atmosphérique

API : American Petroleum Institute

°API : densité du pétrole brut.

ASTM : American Society for Testing and Materials

CCR : Reformage Catalytique Continu Régénération.

CFR: Coopérative Fuel Research

d¹⁵ : Densité a 15 °C

ETBE : Ethyl tertio butyle éther

GPL : Gaz Pétrolier Liquéfié.

LCO : Huile de cycle léger (Light Cycle Oil).

MON : Motor Octane Number

MOV: Moto Vanne.

MS Block : Motor Sprit Block

MTBE : Méthyl tert butyl éther

NHT : unité d'hydrotraitement

NO : Octane Number

PF : Point d'ébullition finale

PI : Point d'ébullition initiale

RA1G : raffinerie d'Alger

RFCC : unité de Craquage Catalytique De Fluide Résiduel

RON : Research Octane Number

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

TAME : Tert-Amyl méthyl ether

TBA : Alcool Tert Butylique

TVR : Tension de vapeur Reid

APPENDIX B

MATERIEL UTILISES POUR LES DIFFERENTS ANALYSES EFFECTUER

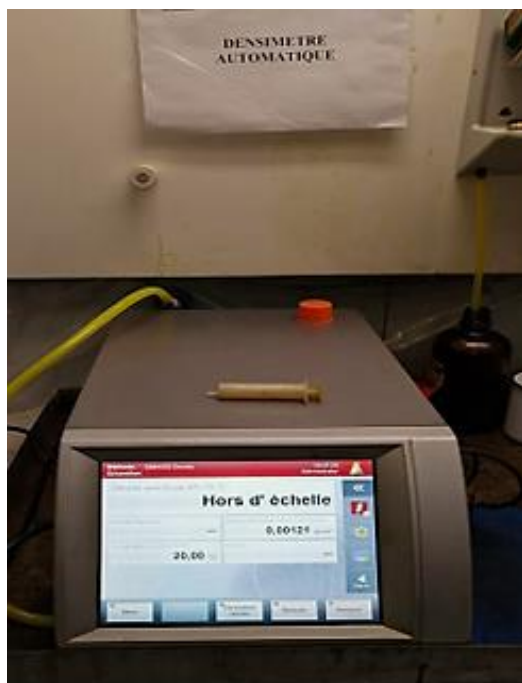


Figure 1: Densimètre automatique.



Figure 2 : Distillateur manuel SETA



Figure 3 : Appareil de mesure de la TVR



Figure 4 : Analyseur de soufre Antek MultiTek

Appendix C

MESURE D'INDICE D'OCTANE

On obtient l'indice d'octane calculer par la formule suivante :

Calcul et contrôle du résultat

Exemple de feuille de mesure :

	1 ^{ère} lecture	2 ^{ème} lecture	moyenne
Échantillon	50	49	49,5
1 ^{er} carburant de référence (94)	69	70	69,5
2 ^{ème} carburant de référence (96)	41	41	41

Calcul :
$$\frac{(\text{moy. Ref 1} - \text{moy. E}) \times 2}{(\text{moy. Ref 1} - \text{moy. Ref 2})} + \text{IO Ref 1}$$

IO Ref 1 = Indice d'octane du carburant de référence le plus faible (ici, 94)

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

Moy. Ref 1 = moyenne des lectures du knockmeter pour le carburant de référence le plus faible

Moy. Ref 2 = 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 :

$$\frac{(69,5 - 49,5) \times 2}{(69,5 - 41)} \Rightarrow \frac{20 \times 2}{28,5} \Rightarrow \frac{40}{28,5} \Rightarrow 1,4 + 94 = \mathbf{95,4}$$

L'indice d'octane mesuré de l'échantillon est ici (pour l'exemple) de **95,4**.



Figure 1: Moteur CFR.

